N. GHEORGHIU

ECHIPAMENTE ELECTRICE PENTRU CENTRALE ŞI STAŢII

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI 1975

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. ing. **Nicolae Gheorghiu**

ECHIPAMENTE ELECTRICE PENTRU CENTRALE ȘI STAȚII

— pentru subingineri —

Editura didactică și pedagogică

Control științific:
Conf. dr. ing. **Paul Militaru**

Redactor: **Gabriela Dedu**
Tehnoredactor: **Ghimiș Victoria**
Coperta de: **Sîrbu Nicolae**

Prefață

Manualul conține materia predată studenților de la secțiile Termoenergetică și Electroenergetică-subingineri; el pune la dispoziția studenților un material rezultat din practica proiectării, montării și exploatării instalațiilor care folosesc aceste echipamente.

Avînd în vedere că lucrarea se adresează în primul rînd studenților, viitori subingineri, manualul a fost în așa fel alcătuit încît să asigure cunoștințele necesare privind principiile de funcționare, concepția constructivă a tipurilor reprezentative, caracteristicile, parametrii și performanțele aparatelor electrice, dîndu-se, în același timp, o deosebită atenție problemelor privind alegerea, montarea, reglarea, întreținerea, repararea și exploatarea acestor echipamente.

După un capitol introductiv în care se expun caracteristicile și condițiile pe care trebuie să le îndeplinească echipamentele electrice, urmează două capitole în care se tratează încălzirea, forțele electrodinamice și arcul electric în aparatele electrice, precum și izolația și contactele aparatelor electrice. Capitolele următoare se referă la construcția, funcționarea, montarea și întreținerea echipamentelor electrice de înaltă și joasă tensiune.

Lucrarea poate fi folosită și de studenții ingineri de la aceleași secții, în special partea care privește întreținerea și exploatarea echipamentelor electrice.

Totodată ea este de un real folos și tehnicienilor care lucrează în întreprinderile care exploatează stațiile și centralele sistemului energetic național sau instalațiilor energetice industriale.

AUTORUL

Cuprins

Prefață 3

Capitolul I **CONSIDERAȚII GENERALE** 7

1.1. Obiectul cursului, definiții, clasificări 7
1.2. Caracteristicile aparatelor electrice 9
1.3. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească aparatele electrice . 11

Capitolul II **PROCESE FIZICE ÎN APARATELE ELECTRICE** 13

2.1. Încălzirea aparatelor electrice . . 13
2.2.1. Considerații generale . . 13
2.1.2. Calculul termic al căilor de curent ale aparatelor electrice 14
2.1.3. Temperaturile admisibile ale conductoarelor și aparatelor 29
2.2. Forțele electrodinamice în conductoare și aparate electrice 31
2.2.1. Considerații generale . . 31
2.2.2. Forțele electrodinamice în cele mai simple sisteme . 37
2.2.3. Forțele electrodinamice în sisteme trifazate 44
2.2.4. Stabilitatea electrodinamică a aparatelor electrice . . 49
2.3. Arcul electric în aparate 50
2.3.1. Considerații generale . . 50
2.3.2. Proprietățile arcului electric 52
2.3.3. Stingerea arcului electric de curent continuu. . . . 57
2.3.4. Stingerea arcului electric de curent alternativ 58
2.3.5. Restabilirea tensiunii între contactele întreruptorului 62
2.3.6. Parametrii caracteristici ai tensiunii de restabilire . . 63
2.4. Izolația aparatelor electrice . . 65
2.4.1. Considerații generale . . 65
2.4.2. Tipuri constructive de izolatoare de înaltă tensiune . 68
2.4.3. Alegerea izolației aparatelor de înaltă tensiune . . 72

Capitolul III **CONTACTE ELECTRICE** 74

3.1. Considerații generale 74
3.2. Clasificarea contactelor electrice 74
3.3. Rezistența de contact 75
3.4. Solicitările termice și electrodinamice ale legăturilor de contact . 80
3.5. Materiale folosite la execuția contactelor 83
3.6. Tipuri constructive de contacte 85

Capitolul IV **APARATE DE COMUTAȚIE DE ÎNALTĂ TENSIUNE** . . . 91

4.1. Întreruptoare de înaltă tensiune 91
4.1.1. Considerații generale . . 91
4.1.2. Caracteristicile întreruptoarelor 93
4.1.3. Condițiile impuse întreruptoarelor 94
4.1.4. Tipuri constructive . . . 95
A. Întreruptoare cu ulei 96
B. Întreruptoare cu aer comprimat 119
C. Întreruptoare cu hexafluorură de sulf . . . 137
D. Întreruptoare cu autogenerare de gaze . . . 144
E. Întreruptoare cu vid . 147
F. Întreruptoare cu suflaj magnetic 147
4.1.5. Montarea, punerea în funcțiune și întreținerea întreruptoarelor 150
4.1.6. Dispozitive de acționare a întreruptoarelor 160
4.2. Separatoare de înaltă tensiune 182
4.2.1. Generalități 182
4.2.2. Caracteristici constructive 183
4.2.3. Clasificarea separatoarelor de înaltă tensiune 186
4.2.4. Tipuri constructive . . . 186
4.2.5. Blocarea separatoarelor . 202

4.2.6. Montarea și întreținerea separatoarelor 206
4.3. Separatoare de sarcină 210
4.3.1. Generalități 210
4.3.2. Principiul de funcționare a principalelor tipuri constructive 211
4.3.3. Separatoare de sarcină de construcție românească . . 215

Capitolul V **APARATE DE PROTECȚIE** 222

5.1. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune 222
5.1.1. Considerații generale . . 222
5.1.2. Construcția siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune. 226
5.1.3. Variante de execuție și caracteristici tehnice . . . 231
5.1.4. Montarea, întreținerea și exploatarea siguranțelor fuzibile 236
5.2. Descărcătoare 239
5.2.1. Considerații generale . . . 239
5.2.2. Eclatoare 243
5.2.3. Descărcătoare tubulare . . 243
5.2.4. Descărcătoare cu rezistență variabilă 247
5.2.5. Descărcătoare cu suflaj magnetic 253
5.2.6. Reguli de montare, încercare și control tehnic în exploatare a descărcătoarelor cu rezistențe variabile . 255

Capitolul VI **BOBINE DE REACTANȚĂ ȘI DE STINGERE** 260

6.1. Bobine de reactanță 260
6.1.1. Considerații generale . . . 260
6.1.2. Variante de execuție, caracteristici tehnice 262
6.2. Bobine de stingere. 266
6.2.1. Considerații generale . . . 266
6.2.2. Variante de execuție, caracteristici tehnice 267
6.3. Montarea, întreținerea și exploatarea bobinelor de reactanță și de stingere 267

Capitolul VII **TRANSFORMATOARE DE MĂSURĂ** 270

7.1. Scopul și importanța transformatoarelor de măsură 270
7.2. Transformatoare de curent . . . 271
7.2.1. Considerații generale . . . 271
7.2.2. Schemele de conexiuni ale transformatoarelor de curent 277
7.2.3. Tipurile constructive ale transformatoarelor de curent 277
7.3. Transformatoare de tensiune . . 281
7.3.1. Considerații generale . . . 281
7.3.2. Schemele de conexiuni ale transformatoarelor de tensiune 283
7.3.3. Tipurile constructive ale transformatoarelor de tensiune 287
7.4. Transformatoare de curent și tensiune combinate 290
7.5. Principiile de exploatare ale transformatoarelor de măsură 293

Capitolul VIII **APARATE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE** 294

8.1. Generalități. Clasificare 294
8.2. Contactorul 295
8.3. Întreruptorul automat 300
8.3.1. Generalități. Elemente constructive 300
8.3.2. Tipuri constructive . . . 303
8.4. Siguranțe fuzibile de joasă tensiune 311
8.5. Condițiile de exploatare a aparatelor electrice de joasă tensiune 316
8.5.1. Condiții impuse de mediu 316
8.5.2. Condiții impuse de regimul de lucru al instalației . 319

Capitolul IX **RELEE ȘI DECLANȘATOARE** 321

9.1. Generalități 321
9.2. Relee 321
9.2.1. Relee electromagnetice . 326
9.2.2. Relee de inducție 330
9.2.3. Relee electrodinamice . . 336
9.2.4. Relee polarizate. 338
9.2.5. Relee magnetoelectrice. . 340
9.2.6. Relee termice 341
9.2.7. Relee statice 342
9.2.8. Relee de timp 346
9.2.9. Relee primare 352
9.2.10. Relee de gaze 352
9.3. Declanșatoare 354

Bibliografie 356

Capitolul I

CONSIDERAȚII GENERALE

1.1. Obiectul cursului, definiții, clasificări

Obiectul cursului este de a prezenta principalele procese fizice și elemente comune tuturor aparatelor electrice, principiile de funcționare și construcția lor, precum și regulile de montare, întreținere și exploatare a aparatelor electrice.

Un aparat electric este un ansamblu de dispozitive electrice și mecanice destinat pentru comanda, protejarea, reglarea și controlul automat sau neautomat al funcționării instalațiilor electrice.

Principalele părți constitutive ale unui aparat electric sînt următoarele:

— partea conducătoare de curent;

— partea izolantă, care separă partea conducătoare de restul aparatului;

— mecanismele necesare îndeplinirii operațiilor enumerate mai sus;

— partea susținătoare și protectoare.

În general, aparatul electric are mișcări ocazionale și nu continui.

Dintre funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească un aparat electric se pot menționa:

— *funcții operative* (anclanșări și declanșări în regim normal de funcționare a instalațiilor electrice);

— *funcții de protecție* (deconectarea porțiunii defecte din instalație);

— *funcții legate de securitatea muncii personalului de serviciu* (întreruperi și izolări față de tensiunea înaltă a unor porțiuni din instalație, pentru a permite executarea fără pericol a lucrărilor de reglare, revizie, reparații etc.).

Dintre aceste funcții cea mai importantă și care se realizează cel mai greu este funcția de protecție. Pentru realizarea ei riguroasă este necesar ca regimul, care este de *avarie* pentru întreaga instalație să fie un regim *normal* pentru aparatul de întrerupere. Acest aparat se calculează pentru o funcționare multiplă și sigură în acest regim de avarie.

Aparatele electrice se clasifică după mai multe criterii.

După funcțiile pe care le îndeplinesc aparatele electrice pot fi grupate după cum urmează.

a. Aparate de comutație automată sau neautomată a circuitelor electrice, care servesc la conectarea (închiderea) și deconectarea (deschiderea) circuitelor electrice, atît în regim normal de funcționare, cît și în regim de ava-

rie de funcţionare sau la comutarea curenţilor de pe un circuit pe altul. Din această grupă fac parte: întreruptoare cu pîrghie, comutatoare pentru lumină şi forţă, întreruptoare-pachet, contactoare, separatoare, întreruptoare de înaltă şi joasă tensiune etc.

b. Aparate de protecţie a instalaţiilor electrice împotriva valorilor periculoase (de defect) ale curenţilor şi tensiunilor. Din această grupă fac parte siguranţele fuzibile, releele de protecţie şi descărcătoarele.

c. Aparate limitatoare de curent care servesc la limitarea curenţilor de scurtcircuit şi la menţinerea unui anumit nivel al tensiunii în momentul scurtcircuitului. În această grupă intră bobinele de reactanţă.

d. Aparate pentru alimentarea circuitelor de măsurat şi de protecţie, care realizează în acelaşi timp şi izolarea circuitelor de joasă tensiune (ale aparatelor de măsură şi ale releelor) de circuitele primare de înaltă tensiune. În această grupă sînt cuprinse transformatoarele de tensiune, transformatoarele de curent şi divizoarele de tensiune.

e. Aparate automate de control şi protecţie, care servesc la controlul regimului de funcţionare al instalaţiilor neelectrice, al mersului procesului tehnologic etc. Ele sînt destinate pentru a da un impuls electric sau un semnal la un aparat cu care se pot efectua operaţii ca: porniri, opriri etc.

f. Aparate de amplificare şi stabilizare, cum sînt amplificatoare magnetice, stabilizatoare. Destinaţia lor este de a amplifica şi stabiliza curentul, tensiunea, puterea şi alte caracteristici în scopul reglării lor automate.

g. Aparate de comandă continuă şi în trepte, care execută pornirea şi oprirea maşinilor electrice şi a altor receptoare electrice, precum şi modificarea caracteristicilor unor instalaţii, cum sînt reostate, bobine etc.

h. Aparate de reglare continuă automată care realizează menţinerea la un anumit nivel a diferitelor caracteristicii: nivelul apei, a tensiunii, a curentului, a puterii, a frecvenţei etc. Un exemplu de astfel de aparate sînt regulatoarele.

i Aparate pentru efectuarea unui lucru mecanic cu ajutorul energiei electrice, cum sînt dispozitivele de acţionare electromagnetice, cuplele electromagnetice, frînele electromagnetice, electromagneţii de ridicat, supapele electromagnetice.

j. Complete de aparate care pot realiza cîteva din funcţiunile enumerate mai sus. Astfel sînt: completele de aparate pentru instalaţiile de distribuţie, panourile de comandă etc.

Aparatele electrice se împart, de asemenea, în două categorii: automate şi neautomate. Aparatele automate sînt acelea a căror funcţionare depinde de starea reţelei în care sînt conectate şi nu depinde de personalul de exploatare. Aparatele neautomate intră în funcţiune numai la comanda personalului de exploatare.

În sfîrşit, în cadrul fiecărei grupe se folosesc clasificări după tensiune (de înaltă şi joasă tensiune), după felul curentului (continuu sau alternativ), după modul de protecţie faţă de mediul ambiant (aparate deschise, protejate şi antideflagrante) şi după o serie întreagă de alte caracteristici ca, de exemplu, execuţia constructivă (întreruptoare cu ulei, întreruptoare cu aer comprimat etc.)

1.2. Caracteristicile aparatelor electrice

a. *Tensiunea nominală* este cea mai mare dintre tensiunile standardizate pentru care a fost construit aparatul şi pentru care se garantează funcţionarea lui în regim permanent.

Aparatele de înaltă tensiune trebuie să funcţioneze în condiţii bune la tensiuni cu 10—15% mai mare decît tensiunea nominală. Această tensiune se numeşte tensiunea maximă de serviciu a aparatelor.

După CEI tensiunea maximă de lucru reprezintă tensiunea nominală a echipamentului electric.

Tensiunea maximă de serviciu (valoarea efectivă a celei mai mari tensiuni dintre faze care poate să apară la un moment dat, în condiţii normale de funcţionare) este stabilită prin prescripţii şi standarde naţionale ca STAS, VDE[1], ASEA[2] etc. şi recomandări internaţionale (CEI[3], CAER[4] etc.). Această valoare a tensiunii trebuie să fie suportată de izolaţia aparatelor electrice un timp nelimitat.

Tensiunea de ţinere (nivelul de izolaţie) este cea mai mare tensiune de încercare pe care izolaţia aparatelor electrice o suportă fără conturnări sau străpungeri, în cadrul verificărilor lor în condiţii definite de standarde. Sînt standardizate în prezent, tensiunile de ţinere la impuls (unda plină de 1,2/50μs şi unda aperiodică lungă de 250/2500 μs), precum şi tensiunea de frecvenţă industrială.

Tensiunile normalizate sînt date în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Tensiuni normalizate

Tensiune maximă de serviciu [kV]	3,6	7,2	12	17,5	24	36	52	72,5	100	123	145	170	245	300	400
Tensiune nominală (kV)	3	6	10	15	20	30	45	60 66	80 88	100 110	120 132	150 161	220 224	275 287,5	380
	3,6	6,3	11		22	33	44	69	90	115	138		230		

În instalaţiile electrice iau naştere în mod accidental supratensiuni *temporare* (creşteri de tensiune, supratensiuni de rezonanţă sau ferorezonanţă), supratensiuni *de comutaţie* şi supratensiuni *atmosferice*. Din această cauză fiecare aparat de înaltă tensiune trebuie să prezinte un surplus de rigiditat dielectrică (coeficient de siguranţă) determinat de raportul dintre tensiunea cea mai mică la care are loc străpungerea spaţiului dintre părţile conductoare ale fazelor vecine sau dintre părţile conductoare şi pămînt, şi tensiunea nominală.

[1] VDE — Verband Deutscher Elektrotechniker, Berlin;
[2] ASEA — Allmäna Svenska Elektriska Aktiebolaget, Västeras, Suedia;
[3] CEI — Comisia Electrotehnică Internaţională;
[4] CAER — Consiliul de Ajutor Economic Reciproc.

b. Curentul nominal al unui aparat este cel mai mare curent pe care partea conducătoare de curent a aparatului îl poate suporta un timp nelimitat fără ca încălzirea diferitelor sale elemente să depășească o anumită temperatură stabilită prin norme. Valorile curenților nominali ai aparatelor electrice din România sînt date în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

Valorile curenților nominali uzuali ai aparatelor electrice de înaltă tensiune

Denumirea aparatului	Curenți nominali [A]
Întreruptoare	400; 630; 1000; 1250; 1600; 2000; 3150; 4000; 5000; 6300
Separatoare de sarcină	200; 400; 630
Separatoare	200; 400; 630; (800); 1250; 1600; 2000; 3150; 4000; 6300
Bobine de reactanță	400; 600; 750; 1000; 1500; 2000
Transformatoare de curent	5; 10; (12,5); 15; 20; (25); 30; (40); 50; (60); 75 și multiplii zecimali ai acestora
Siguranțe fuzibile	2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 31,5; 40; 63; 80; 100

c. Stabilitatea electrodinamică a aparatelor de înaltă tensiune este caracterizată prin curentul de stabilitate electrodinamică (curentul maxim admisibil) care reprezintă valoarea maximă a amplitudinii curentului de scurtcircuit de șoc pe care-l suportă aparatul fără să se deterioreze.

La transformatoarele de curent stabilitatea electrodinamică poate fi exprimată printr-un factor electrodinamic egal cu raportul dintre curentul de stabilitate electrodinamică și amplitudinea curentului nominal primar:

$$K_{din} = \frac{i_{max}}{\sqrt{2}\, I_{1n}}.$$

d. Stabilitatea termică la scurtcircuite a aparatelor de înaltă tensiune este caracterizată prin curentul de stabilitate termică, adică cel mai mare curent de valoare efectivă constantă, pe care îl suportă aparatul un timp determinat (în mod obișnuit: 1s, 3s sau 5s) fără ca temperatura pieselor sale să depășească limitele admisibile stabilite de norme.

La transformatoarele de curent, stabilitatea termică poate fi caracterizată printr-un factor de stabilitate termică egal cu raportul dintre curentul de stabilitate termică pentru timpul prescris t și curentul nominal primar:

$$K_t = \frac{I}{I_{1n}}.$$

e. Curentul de conectare este cel mai mare curent de scurtcircuit (exprimat în valoare de amplitudine) pe care aparatele de comutație automate

îl pot stabili la tensiunea nominală sau la altă tensiune dată, fără pericolul sudării contactelor sau al altor deteriorări care să împiedice funcționarea lor în continuare.

f. Curentul de rupere este cel mai mare curent pe care aparatele de comutație îl pot rupe la o tensiune dată, fără deteriorări care să împiedice funcționarea lor în continuare.

g. Puterea de rupere a aparatelor de comutație este o mărime convențională reprezentînd produsul dintre valoarea efectivă a curentului de rupere în momentul separării contactelor și o tensiune dată.

1.3. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească aparatele electrice

În exploatare, aparatele sînt supuse acțiunii multor factori, care influențează funcționarea lor și care determină deci condițiile pe care aceste aparate trebuie să le îndeplinească. Cele mai importante dintre aceste acțiuni sînt prezentate în cele ce urmează.

Acțiuni electrice. Aparatele se găsesc încontinuu sub acțiunea tensiunilor de serviciu. În unele cazuri ele sînt supuse la supratensiuni de comutație sau atmosferice. De asemenea, ele sînt supuse acțiunii descărcării corona, precum și diferitelor descărcări electrice care întotdeauna sînt însoțite de un arc electric mai mult sau mai puțin intens.

Orice aparat trebuie să fie în stare să funcționeze sigur și mult timp la tensiunea pentru care el a fost construit. El trebuie să suporte, de asemenea, acțiunea supratensiunilor, care nu întrec tensiunile la care a fost încercat aparatul. Dacă supratensiunea depășește tensiunea de încercare, se admite ca aparatul să prezinte descărcări superficiale, dar nu trebuie să prezinte străpungeri.

Acțiuni mecanice. Aparatele sînt supuse la acțiuni mecanice în funcționare normală (de exemplu, la anclanșarea și declanșarea întreruptoarelor), la acțiunea presiunilor interne (de exemplu, în întreruptoare, siguranțe etc.) precum și la acțiunea forțelor electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

Acțiuni termice. În regim normal de funcționare, aproape toate aparatele sînt supuse încălzirii produse de curentul ce trece prin ele (de curentul normal sau de curentul de scurtcircuit). Arcul electric determină, de asemenea, încălziri în locurile unde se produce, pe izolație sau pe părțile metalice.

Acțiuni atmosferice. Aparatele electrice sînt supuse acțiunii temperaturii, presiunii și umidității aerului, ploii, ceții, poleiului și prafului.

Acțiunea timpului. Această acțiune se manifestă diferit în diferite aparate și în diferite părți ale aparatului.

De exemplu, la întreruptoare și la separatoare ea se manifestă prin uzura părților care se freacă; la izolație se observă îmbătrînirea ei și deci modificarea proprietăților izolante în funcție de timp; la întreruptoarele cu gaz și la descărcătoarele tubulare se consumă suprafața interioară a camerei sau a tubului etc.

Aparatele funcționează în unele cazuri în condiții grele. Desigur factorii care acționează asupra lor nu se manifestă simultan. Sînt două categorii

caracteristice de aparate care se deosebesc între ele în raport cu acţiunea factorilor externi: aparate *de interior* şi aparate *de exterior*. Desigur că la primele nu au importanţă acţiunile atmosferice, dar interesează alţi factori ca, de exemplu, forţele electrodinamice, din cauza distanţelor mai mici dintre părţile conducătoare de curent.

Ţinînd seama de influenţa acţiunilor enumerate mai sus, pentru o funcţionare normală în exploatare, aparatele electrice trebuie să îndeplinească următoarele condiţii fundamentale:

1. funcţionarea sigură şi de lungă durată la parametrii pentru care a fost calculat aparatul;

2. stabilitatea termică şi dinamică la trecerea celor mai mari curenţi de scurtcircuit prescrişi pentru aparatul dat;

3. izolaţia electrică să reziste la solicitarea supratensiunilor, care nu întrec valoarea tensiunilor de încercare recomandate pentru aparatul dat;

4. stabilitate la solicitările factorilor climatici;

5. construcţia în ansamblu să fie simplă, alcătuită din elemente tipizate şi să permită execuţia în flux tehnologic;

6. gabaritul, greutatea şi costul să fie cît mai reduse;

7. deservirea, revizia şi repararea să fie uşoare, simple şi cu maximum de securitate.

Capitolul II

PROCESE FIZICE ÎN APARATE ELECTRICE

2.1. Încălzirea aparatelor electrice

2.1.1. Considerații generale

La trecerea curentului prin aparatele electrice, datorită unor procese caracteristice, în elementele componente ale acestora (căi de curent, bobine, miezuri feromagnetice, izolație) se dezvoltă căldură. Astfel: datorită efectului Joule are loc încălzirea căilor de curent; datorită pierderilor prin histerezis și prin curenti turbionari are loc încălzirea miezurilor feromagnetice; prin pierderile în dielectric are loc încălzirea izolației aparatelor electrice; prin efectul pelicular și prin efectul de apropiere rezultă, de asemenea, încălziri suplimentare ale căilor de curent.

Căldura dezvoltată duce la diferențierea temperaturilor diverselor părți componente ale aparatelor electrice atît față de mediul ambiant cît și unele față de altele. Aceste niveluri diferite de temperatură în aparat dau naștere unor fluxuri de căldură între elementele componente ale aparatului, precum și între aparat și mediul ambiant, care tind să uniformizeze temperatura aparatului în ansamblu.

Se disting două regimuri fundamentale de încălzire a aparatelor electrice.

a. Regimul de încălzire de lungă durată sub curentul normal este regimul care se caracterizează prin echilibru termic, adică egalitatea dintre cantitatea de căldură dezvoltată de curent în aparat și cantitatea de căldură evacuată în mediul ambiant. În acest regim, diferitele elemente ale aparatelor funcționează la temperaturi stabilizate.

b. Regimul de încălzire la scurtcircuit la un curent mai mare decît cel nominal este regimul în care nu există echilibru între căldura dezvoltată și căldura preluată de mediul de răcire. Cazul cel mai caracteristic al acestui regim este încălzirea la curentul de scurtcircuit.

Pentru a se evita defectarea sau chiar distrugerea aparatelor electrice de înaltă tensiune este necesar ca temperaturile maxime atinse de piesele componente să nu depășească, atît în regim de încălzire de lungă durată, cît și în regim de încălzire la scurtcircuit, limitele impuse de standarde.

Întrucît aparatele electrice sînt formate dintr-un număr mare de elemente, solicitate termic direct, calculul temperaturilor pe ansamblul aparatului este complicat. Ca urmare, temperatura aparatului se stabilește, în general, experimental, iar prin calcul se determină numai temperaturile elementelor componente.

2.1.2. Calculul termic al căilor de curent ale aparatelor electrice

a. Încălzirea conductoarelor omogene în regim de lungă durată. Considerînd un conductor omogen, cu secţiunea constantă, aflat într-un mediu cu temperatură constantă, încălzirea acestuia în regim de lungă durată se poate descrie cu ajutorul soluţiei unei ecuaţii diferenţiale de ordinul *I*.

Dacă prin conductor nu trece curent electric, temperatura sa este egală cu temperatura mediului ambiant. Cînd conductorul este parcurs de curent electric, se dezvoltă în el o energie termică, din care o parte se consumă pentru ridicarea temperaturii conductorului, iar o parte este cedată mediului ambiant. După un timp oarecare se ajunge la un regim în care toată energia termică este cedată mediului ambiant, iar temperatura conductorului atinge o valoare stabilizată.

Bilanţul general al energiei termice pentru conductorul omogen străbătut de curent electric, în intervalul de timp infinit mic dt, se exprimă prin ecuaţia diferenţială:

$$dQ = dQ_1 + dQ_2, \tag{2—1}$$

în care: dQ este cantitatea de căldură dezvoltată prin trecerea curentului electric într-un interval de timp infinit mic, măsurată în Ws;

dQ_1 — cantitatea de căldură consumată pentru ridicarea temperaturii conductorului, măsurată în Ws;

dQ_2 — cantitatea de căldură cedată mediului ambiant, măsurată în Ws.

Relaţia (2—1) se poate scrie:

$$RI^2\,dt = Mc\,d\theta + KS(\theta - \theta_0)\,dt, \tag{2—2}$$

unde: R este rezistenţa conductorului, măsurată în Ω;

M — masa conductorului, măsurată în kg;

c — căldura specifică a materialului conductorului, măsurată în $\frac{\text{Ws}}{(\text{kg} \cdot \text{grd})}$;

K — coeficientul de transmisie a căldurii, măsurat în $\frac{\text{Ws}}{(\text{m}^2 \cdot \text{grd})}$;

S — suprafaţa conductorului, măsurată în m^2;

θ şi θ_0 sînt temperaturile conductorului şi a mediului ambiant.

Diferenţa $(\theta - \theta_0)$ se notează cu τ şi se numeşte supratemperatura sau încălzirea conductorului.

Făcînd schimbarea de variabilă $\tau = \theta - \theta_0$ şi împărţind ecuaţia (2—2) cu $Mc\,dt$ se obţine următoarea ecuaţie diferenţială:

$$\frac{d\tau}{dt} + \tau \frac{KS}{Mc} = \frac{RI^2}{Mc}. \tag{2—3}$$

În condiţiile regimului normal de funcţionare, temperatura conductorului variază în limite relativ apropiate, astfel că se poate admite că mărimile R, c şi K sînt constante.

În acest caz, rezolvarea ecuației diferențiale (2—3) este relativ simplă. O soluție particulară a acestei ecuații este:

$$\tau_s = \frac{\frac{RI^2}{\frac{Mc}{KS}}}{\frac{KS}{Mc}} = \frac{RI^2}{KS}. \qquad (2—4)$$

Raportul $\frac{RI^2}{KS}$ are dimensiunea unei temperaturi și reprezintă supratemperatura stabilizată τ_s.

Trebuie apoi rezolvată ecuația omogenă:

$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{KS}{Mc}\tau = 0 \text{ sau } \frac{d\tau}{\tau} = -\frac{dt}{\frac{Mc}{KS}}.$$

Mărimea $\frac{Mc}{KS}$ are dimensiunea unui timp și se notează cu T. Se poate deci scrie:

$$\frac{d\tau}{\tau} = -\frac{dt}{T}; \quad \ln\frac{\tau}{A} = -\frac{t}{T}; \quad \tau = A\,e^{-\frac{t}{T}},$$

în care A reprezintă constanta de integrare.

Soluția generală a ecuației diferențiale (2—3) se obține prin însumarea soluției particulare cu soluția ecuației diferențiale omogene:

$$\tau = \tau_s + Ae^{-\frac{t}{T}}.$$

Constanta de integrare se determină punînd condiția la limită $t = 0$, $\tau = \tau_i$ ($\tau_i = \theta_i - \theta_0$), de unde:

$$\tau_i = \tau_s + A; A = \tau_i - \tau_s,$$

astfel că ecuația căutată a încălzirii este:

$$\tau = \tau_s(1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \tau_i\, e^{-\frac{t}{T}}. \qquad (2—5)$$

Mărimea $\tau_i = \theta_i - \theta_0$, este supratemperatura inițială a conductorului.

În cazul particular, cînd temperatura conductorului la începutul procesului de încălzire este egală cu temperatura mediului ambiant $\theta_i = \theta_0$, adică $\tau_i = 0$, ecuația încălzirii devine:

$$\tau = \tau_s(1 - e^{-\frac{t}{T}}). \qquad (2—6)$$

În cazul în care se ține seama de variația rezistivității cu temperatura, deși ecuația încălzirii rămîne aceeași — expresiile (2—5) sau (2—6) — expresiile lui τ_s și T se modifică.

Rezistivitatea ρ este o funcție de temperatură de forma $\rho = \rho_{20}\,[1 + \alpha(\theta - 20)]$. unde α este coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura θ.

Înlocuind în ecuația (2—2): $R = \rho_{20}\,[1 + \alpha(\tau + \theta_0 - 20)]\,\frac{l}{s}$, $M = \gamma s l$ și $S = l_p l$ (l_p este lungimea perimetrului, l și s — lungimea și secțiunea conductorului) se obține:

$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{Kl_p s - \rho_{20} I^2 \alpha}{\gamma c s^2}\,\tau = \frac{\rho_{20} I^2 [1 + \alpha(\theta_0 - 20)]}{\gamma c s^2}.$$

Rezolvînd ecuația de mai sus rezultă:

$$\tau_s = \frac{[1 + \alpha(\theta_0 - 20)]\tau_s}{1 - \alpha\tau_s'} \quad \text{și} \quad T = \frac{T'}{1 - \alpha\tau_s'},$$

în care $\tau_s' = \frac{\rho_{20} I^2}{Kl_p s}$ și $T' = \frac{\gamma c s}{Kl_p}$ sînt valorile supratemperaturii stabilizate și a constantei de timp în situația în care nu se ia în considerare variația lui ρ cu temperatura.

Revenind la cazul în care ρ = constant, pe baza expresiilor deduse, se pot face unele observații.

Astfel studiind expresiile (2—5) și (2—6) se constată că supratemperatura conductorului tinde asimptotic către o valoare limită stabilă la care se ajunge după un timp teoretic infinit ($t = \infty$). Se observă că supratemperatura stabilizată τ_s nu depinde, de supratemperatura inițială a conductorului și pentru un conductor dat este proporțională cu pătratul intensității curentului.

Mărimea:

$$T = \frac{Mc}{KS} \tag{2—7}$$

se numește constanta de timp a încălzirii.

Pentru o anumită valoare a curentului, conductorul se încălzește cu atît mai încet, cu cît constanta sa de timp este mai mare. Constanta de timp este raportul dintre capacitatea termică a corpului (Mc) și capacitatea lui de a emite căldura în mediul ambiant (KS). Această constantă se determină, în general, experimental pentru aparate și poate fi calculată numai pentru cazuri simple.

Ecuația încălzirii pentru o supratemperatură inițială egală cu zero (2—6), se poate reprezenta într-o diagramă luînd pentru timp diferite valori, multiplu ale constantei de timp:

$$\begin{aligned}
&t = \;\; T;\ \tau = \tau_s\,(1 - e^{-1}) = \tau_s\,(1 - 0{,}368) = 0{,}632\,\tau_s;\\
&t = 2T;\ \tau = \tau_s\,(1 - e^{-2}) = \tau_s\,(1 - 0{,}135) = 0{,}865\,\tau_s;\\
&t = 3T;\ \tau = \tau_s\,(1 - e^{-3}) = \tau_s\,(1 - 0{,}050) = 0{,}950\,\tau_s;\\
&t = 4T;\ \tau = \tau_s\,(1 - e^{-4}) = \tau_s\,(1 - 0{,}018) = 0{,}982\,\tau_s.
\end{aligned} \tag{2—8}$$

În figura 2.1 sînt prezentate curbele $\tau = f(t)$ în cazul supratemperaturii inițiale nule, pentru aceeași constantă de timp și pentru două valori ale curentului.

Curba *2* corespunde încălzirii pentru un curent $I_2 > I_1$, I_1 fiind curentul de valoare efectivă constantă care produce încălzirea după curba *1*. După cum se vede din valorile supratemperaturii (2—8) și din curbele din figura 2.1,

deşi *teoretic* supratemperatura stabilizată este atinsă după un timp infinit, *practic* se atinge după un timp egal cu $4T$ (exact 98,2% din supratemperatura stabilizată).

Dacă încălzirea s-ar face fără cedare de căldură în mediul ambiant, atunci ecuaţia încălzirii devine:

$$RI^2 dt = Mc d\theta = Mc d\tau,$$

care se mai poate scrie:

$$d\tau = \frac{RI^2}{Mc} dt.$$

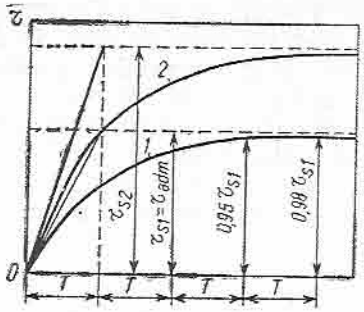


Fig. 2.1

Rezolvînd această ecuaţie, se obţine dependenţa supratemperaturii în funcţie de timp:

$$\tau - \tau_i = \frac{RI^2}{Mc} t$$

sau:

$$\tau = \tau_i + \frac{RI^2}{Mc} t. \qquad (2-9)$$

Ţinînd seama că:

$$\frac{RI^2}{Mc} = \frac{RI^2}{KS} \frac{KS}{Mc} = \frac{\tau_s}{T},$$

ecuaţia (2—9) devine:

$$\tau = \tau_i + \frac{\tau_s}{T} t, \qquad (2-10)$$

care se scrie în cazul cînd supratemperatura iniţială este zero astfel:

$$\tau = \frac{\tau_s}{T} t. \qquad (2-11)$$

Ecuaţia (2—11) arată că supratemperatura variază direct proporţional cu timpul de încălzire t, în cazul în care nu se transmite căldură în exterior şi cînd supratemperatura iniţială este zero. Grafic ecuaţia (2—11) reprezintă o dreaptă tangentă în origine la curba încălzirii normale (figura 2.1). Într-adevăr derivata expresiei (2—6) în origine:

$$\left(\frac{d\tau}{dt}\right)_{t=0} = \left(\frac{\tau_s}{T} e^{-\frac{t}{T}}\right)_{t=0} = \frac{\tau_s}{T}, \qquad (2-12)$$

este egală cu coeficientul unghiular al dreptei din ecuaţia (2—11). După un timp egal cu constanta de timp, supratemperatura este egală cu supratemperatura stabilizată. Deci, constanta de timp este egală cu timpul fictiv, în care conductorul avînd temperatura iniţială egală cu a mediului ambiant şi care nu transmite căldură în mediul ambiant, atinge o supratemperatură egală cu supratemperatura stabilizată a conductorului, care transmite căldură în mediul ambiant.

Precum se vede din expresia (2—7), constanta de timp depinde de proprietăţile materialului, de dimensiunile geometrice ale conductorului şi de modul de transmisie a căldurii şi nu depinde de intensitatea curentului. Faptul că intensitatea curentului nu influenţează constanta de timp este valabil cu suficientă aproximaţie pentru practică în regim normal, cînd supratemperatura nu variază în limite prea mari.

În tabelul 2.1 sînt date cîteva valori ale constantei de timp T a încălzirii de lungă durată pentru bare de cupru neizolate de diferite dimensiuni.

Tabelul 2.1

Valorile constantei de timp T a încălzirii de lungă durată pentru bare de cupru neizolate

Secţiunea barelor [mm]	Constanta de timp a încălzirii [min]	Timp de încălzire a barelor pînă la temperatura stabilizată [h]
40×5	9,5	1
50×5	10	1
80×10	20	2
100×10	22	2

În expresia (2—2) apare mărimea K denumită coeficient de transmisie a căldurii. Aşa cum apare expresia respectivă, K este un coeficient global care ţine seama de modul de transmisie a căldurii de la conductor către mediul ambiant. În cazurile în care acest mediu ambiant este gazos sau lichid acest coeficient global are doar două componente: una datorită transmisiei prin radiaţie, alta datorită transmisiei prin convecţie. În cazurile în care conductorul este mărginit de medii solide intervine transmisia prin conductivitate (care intervine şi în cazurile în care se ţine seama de nivelurile diferite de temperatură din diverse puncte ale conductorului) dar în acest caz calculul încălzirii conductorului se face în alt mod.

În tabelul 2—2 sînt date valorile coeficientului de transmisie a căldurii pentru conductoare şi părţi din aparate.

Tabelul 2.2

Coeficientul de transmisie a căldurii

Nr. crt.	Suprafaţa şi caracteristicile ei	K [W/(m². grd)]	
		în aer	în ulei
1	Bare orizontale de cupru, de diametrul 1... 6 cm, cu suprafaţa oxidată	8,5—13	—
2	Bare late din cupru, aşezate pe muchie, cu suprafaţa oxidată	6 — 9	—
3	Suprafaţa bobinajului cu izolaţie de hîrtie	10 —12,5	25—36
4	Pachet din tablă de oţel	10 —12,5	70—90

Folosirea coeficientului K pentru calculele termice este foarte răspîndită în practica proiectării aparatelor electrice, unde cercetarea mai precisă a transmisiei căldurii este deseori imposibilă.

Coeficientul K se determină de regulă experimental. Astfel, în cazul conductoarelor pentru liniile electrice aeriene:

$$K = K_r + K_c,$$

unde: K_r este coeficientul de transmisie a căldurii prin radiație;

K_c — coeficientul de transmisie a căldurii prin convecție.

K_r și K_c se determină din relațiile:

$$K_r = 2{,}8(100 + 0{,}6\theta)\ 10^{-6};$$

$$K_c = 9\sqrt{\frac{pv}{d}}\ 10^{-3},$$

în care: θ este temperatura finală admisibilă a conductorului, în °C;

p — presiunea, în at;

v — viteza vîntului (se calculează pentru condițiile cele mai dificile; $v = 0{,}6$ m/s — corespunzătoare timpului liniștit);

d — diametrul conductorului, în mm.

Coeficientul K pentru cazul barelor colectoare în stațiile electrice, unde încălzirea nu depășește 80 °C este [2]:

$$K = 5{,}5\sqrt[4]{\frac{T_1 - T_0}{T_0 h}}\sqrt{\frac{b}{780}}\ \frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{grd})},$$

unde: T_1 este temperatura absolută a barei, în °K;

T_0 — temperatura absolută a aerului, în °K;

h — înălțimea barei, cuprinsă între 0,05 m și 1 m;

b — presiunea atmosferică, în mmHg.

Relațiile (2—5) și (2—6) permit să se determine evoluția în timp a încălzirii unui conductor parcurs de un anumit curent în regim de lungă durată și ceea ce este mai important, să se determine temperatura stabilizată $\theta_s = \tau_s + \theta_0$ a conductorului, temperatură ce nu trebuie să depășească valorile admise.

De cele mai multe ori însă, verificarea conductorului în regim de lungă durată nu se face prin calcularea temperaturii stabilizate și compararea ei cu valorile admisibile, ci prin determinarea unui curent maxim admisibil în regim de lungă durată care parcurgînd conductorul respectiv ar produce o temperatură stabilizată egală cu temperatura maximă admisibilă în același regim, adică $\theta_s = \theta_a$ (θ_a — temperatura maximă admisibilă). Pentru o anumită temperatură a mediului ambiant θ_0, supratemperatura maximă admisibilă este

$$\tau_a = \theta_a - \theta_0,$$

deci curentul maxim admisibil I_a este dat de expresia:

$$I_a = \sqrt{\frac{KS}{R}\tau_a} = \sqrt{\frac{KS}{R}(\theta_a - \theta_0)}. \qquad (2-13)$$

Din expresia (2—13), rezultă că intensitatea curentului maxim admisibil în regim de lungă durată depinde de temperatura mediului ambiant θ_0, de coeficientul de transmisie a căldurii K, de suprafaţa de răcire S şi de rezistenţa R a conductorului.

Cunoscînd curentul maxim admisibil în regim de lungă durată I_{a1}, corespunzător unei temperaturi a mediului ambiant θ_{01}, se poate determina curentul maxim admisibil I_{a2}, corespunzător unei alte temperaturi a mediului ambiant θ_{02}, pentru acelaşi conductor, în condiţii identice de încălzire:

$$I_{a2} = I_{a1}\sqrt{\frac{\theta_a - \theta_{02}}{\theta_a - \theta_{01}}}.$$

Dacă se ia în considerare şi modificarea rezistenţei conductoarelor odată cu variaţia temperaturii se obţine următoarea expresie a curentului maxim admisibil:

$$I_a = \sqrt{\frac{KS\tau_a}{R(1 + \alpha\tau_a)}} = \sqrt{\frac{KS(\theta_a - \theta_0)}{R[1 + \alpha(\theta_a - \theta_0)]}}. \qquad (2—14)$$

În afară de curentul maxim admisibil în cazul luării în consideraţie a variaţiei rezistivităţii cu temperatura se mai poate determina şi un curent critic pentru care $\alpha\tau_s' = 1$, adică $I_{cr} = \sqrt{\frac{KS}{\alpha R}}$ (vezi expresia lui τ_s').

Pentru un $I > I_{cr}$, τ_s şi T îşi schimbă semnul şi relaţia (2—6) devine:

$$\tau = \tau_s\left(e^{\frac{t}{T}} - 1\right),$$

adică temperatura conductorului creşte repede către o valoare infinit de mare ceea ce duce la distrugerea conductorului.

Din relaţiile (2—13) şi (2—14) se observă că curentul electric admis în regimul de lungă durată depinde şi de suprafaţa de răcire a conductorului şi de aceea pentru o folosire cît mai bună a metalului, trebuie ca forma secţiunii conductorului să fie astfel încît să aibă perimetrul cel mai mare. Conductoarele de secţiune circulară au suprafaţa de răcire relativ mică şi de aceea au o întrebuinţare limitată în instalaţiile electrice. Barele cu secţiune dreptunghiulară au un domeniu mai larg de utilizare. Pentru aceeaşi secţiune, bara dreptunghiulară plată este cea mai potrivită din punct de vedere al folosirii metalului, deoarece admite cea mai mare densitate de curent.

Acest fapt se poate demonstra uşor stabilind dependenţa dintre raportul laturilor dreptunghiului secţiunii şi densitatea maximă admisibilă de curent. Pentru stabilirea acestei dependenţe se foloseşte relaţia (2—13) în care se înlocuieşte:

$$R = \frac{\rho}{s}, \quad \text{(pentru } l = 1 \text{ m)}$$

de unde:

$$I_a = \sqrt{\frac{KS\tau_a s}{\rho}},$$

sau densitatea maximă admisibilă:

$$j_a = \frac{I_a}{s} = \sqrt{\frac{KS\tau_a}{\rho_s}}$$

Notînd laturile dreptunghiului secțiunii prin h și b și introducînd suprafața $S = 2(h + b)$ pentru $l = 1$ și $s = bh$, se obține:

$$j_a = \sqrt{\frac{2K\tau_a}{\rho}} \sqrt{\frac{b + h}{bh}}.$$

Această expresie arată că odată cu micșorarea grosimii b a barei, pentru aceeași secțiune, densitatea de curent admisibilă se mărește, întrucît:

$$\lim_{b \to 0} \frac{b + h}{bh} = \infty.$$

Densitatea de curent pentru un conductor rotund de aceeași secțiune este circa 60...70% din densitatea de curent admisibilă pentru bara plată.

Secțiunile cele mai folosite în instalații sînt de 1000...1200 mm². Secțiuni mai mari se folosesc rar, deoarece densitatea admisibilă a curentului prin bara cu secțiune dreptunghiulară se micșorează cînd secțiunea crește. Aceasta se explică prin faptul că suprafața de răcire raportată la unitatea de secțiune se micșorează cînd secțiunea crește.

b. Încălzirea conductoarelor izolate în regim de lungă durată. Determinarea ecuației încălzirii conductoarelor izolate este mai dificilă în cazul conductoarelor neizolate. Întrucît, în astfel de cazuri, limitele de încălzire ale conductorului sînt determinate de stabilitatea termică a izolației este suficient, ca prin calcul, să se determine temperatura maximă a izolației. Ori această temperatură apare la suprafața de separație între conductor și izolație.

În regim stabilizat, cînd toată căldura dezvoltată în conductor este degajată în mediul ambiant prin suprafața izolației, se poate scrie ecuația de bilanț termic astfel:

$$RI^2 \mathrm{d}t = KS(\theta_{s1} - \theta_0)\,\mathrm{d}t, \qquad (2-15)$$

unde: K este coeficientul de transmisie a căldurii de la suprafața izolației în mediul ambiant, în $\frac{\mathrm{W}}{(\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{grd})}$;

S — suprafața exterioară a izolației, în m^2;

θ_{s1} — temperatura stabilizată la suprafața exterioară a izolației.

Notînd cu $\tau_{s1} = \theta_{s1} - \theta_0$ supratemperatura stabilizată la suprafața izolației se obține:

$$\tau_{s1} = \frac{RI^2}{KS}. \qquad (2-16)$$

În acest caz, temperatura stabilizată la suprafața conductorului va fi:

$$\theta_s = \tau_{s1} + \theta_0 + \Delta\theta, \qquad (2-17)$$

unde $\Delta\theta$ este căderea de temperatură în stratul de izolație și se poate determina în funcție de secțiunea conductorului.

Astfel pentru un conductor de secțiune circulară (fig. 2.2.) fluxul termic transmis prin grosimea dr la distanța r în izolație are expresia [1]:

$$\frac{dQ}{dt} = RI^2 = -\lambda \frac{d\theta}{dr} 2\pi r l,$$

unde: $\frac{dQ}{dt}$ este fluxul termic egal cu puterea transmisă prin izolație în regim stabilizat, în W;

λ — coeficient de transmisie a căldurii prin conductivitate termică, în $\frac{W}{(m \cdot grd)}$;

l — lungimea conductorului, în m.

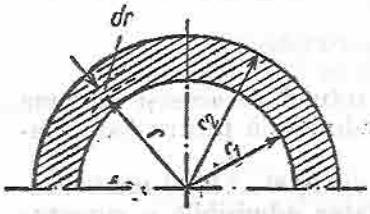


Fig. 2.2

Din această expresie integrînd de la r_1 la r_2 se poate obține $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \frac{RI^2}{2\pi\lambda l} \ln \frac{r_2}{r_1}. \qquad (2-18)$$

Într-un mod analog se poate determina $\Delta\theta$ și pentru alte secțiuni ale conductorului ca, de exemplu, pentru un conductor cu secțiune dreptunghiulară [2].

c. Răcirea conductoarelor omogene

Dacă în expresia (2—2) se face $I = 0$ se obține ecuația diferențială a cărei soluție descrie răcirea conductorului. Deci:

$$0 = Mc\,d\theta + KS(\theta - \theta_0)\,dt,$$

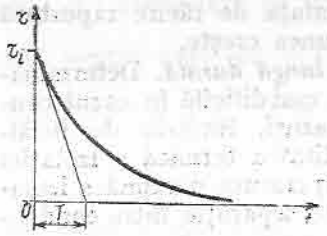


Fig. 2.3

care devine:

$$\frac{d\tau}{\tau} = -\frac{KS}{Mc} dt. \qquad (2-19)$$

Cu aceleași notații folosite în rezolvarea ecuației (2—2) rezultă soluția ecuației (2—19):

$$\tau = Ae^{-\frac{t}{T}}.$$

La limită pentru $t = 0$, $\tau = \tau_i$ — supratemperatura inițială, deci $\tau_i = A$.

Ecuația răcirii este în acest caz:

$$\tau = \tau_i e^{-\frac{t}{T}}. \qquad (2-10)$$

De remarcat că constanta de timp T la răcire este identică cu constanta de timp la încălzire doar în cazul în care se consideră ρ = constant.

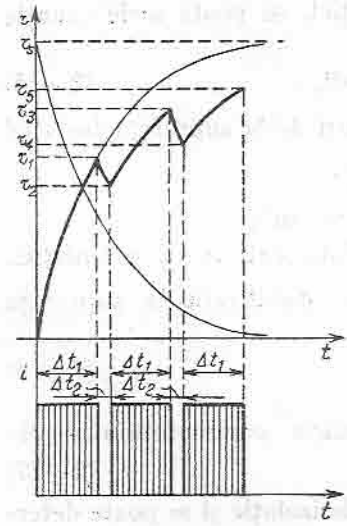


Fig. 2.4

În figura 2.3 este reprezentată curba $\tau = f(t)$ în cazul răcirii unui conductor omogen.

d. Încălzirea conductoarelor omogene în regim de încălzire intermitentă.

Regimul de încărcare intermitentă se caracterizează prin faptul că curentul străbate conductorul un timp Δt_1, urmează o pauză Δt_2 în care curentul prin conductor este zero, după care procesul se repetă.

Considerînd Δt_1 şi Δt_2 constante de-a lungul procesului se poate calcula încălzirea conductorului folosind relaţiile (2—5) — pentru perioada Δt_1 cînd conductorul parcurs de curent se încălzeşte şi (2—20) — pentru perioada Δt_2 cînd conductorul, în absenţa curentului, se răceşte.

Pentru primul ciclu încălzire-răcire se poate scrie:

$$\tau_1 = \tau_i \, e^{-\frac{\Delta t_1}{T}} + \tau_s \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right);$$

$$\tau_2 = \tau_1 e^{\frac{\Delta t_2}{T}},$$

unde: τ_1 este supratemperatura conductorului la sfîrşitul primei perioade de încălzire;

τ_2 — supratemperatura conductorului la sfîrşitul primei perioade de răcire.

Notînd în continuare cu τ cu indici impari supratemperaturile la sfîrşitul perioadelor de încălzire şi cu τ cu indici pari-supratemperaturile la sfîrşitul perioadelor de răcire se pot scrie succesiv relaţiile:

$$\tau_3 = \tau_2 \, e^{-\frac{\Delta t_1}{T}} + \tau_s \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right);$$

$$\tau_4 = \tau_3 \, e^{-\frac{\Delta t_2}{T}};$$

$$\tau_{2n-1} = \tau_{2n-2} \, e^{-\frac{\Delta t_1}{T}} + \tau_s \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right);$$

$$\tau_{2n} = \tau_{2n-1} \, e^{-\frac{\Delta t_2}{T}};$$

$$\tau_{2n+1} = \tau_{2n} \, e^{-\frac{\Delta t_1}{T}} + \tau_s \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right).$$

Se poate observa că după un număr foarte mare de cicluri încălzire-răcire, practic, între două încălziri succesive nu va mai exista diferenţă de temperatură, adică se poate scrie că pentru $n \to \infty$:

$$\tau_{2n-1} = \tau_{2n+1}$$

De unde rezultă:

$$\frac{\tau_{2n}}{e^{-\frac{\Delta t_2}{T}}} = \tau_{2n} \, e^{-\frac{\Delta t_1}{T}} + \tau_s \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right)$$

sau

$$\tau_{2n} = \frac{e^{-\frac{\Delta t_2}{T}}\left[1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right]}{1 - e^{-\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{T}}} \tau_s.$$

Înlocuind pe τ_{2n} în expresia lui τ_{2n+1} se poate obține supratemperatura maximă a conductorului în regim intermitent, pentru $n \to \infty$:

$$\tau_{2n+1} = \frac{1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{T}}} \tau_s.$$

Pentru $\Delta t_2 > 0$:

$$\frac{1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{T}}} < 1, \text{ deci:}$$

$\tau_{2n+1} < \tau_s$ și, ca urmare, în regim de încărcare intermitentă conductorul poate suporta un curent mai mare decît în regim de lungă durată.

Determinarea supratemperaturii maxime în regim de încărcare intermitentă se poate rezolva și grafic, mai ales atunci cînd intervalele de timp Δt_1 și Δt_2 nu sînt aceleași pe tot parcursul procesului [2].

e. Încălzirea conductoarelor omogene în regim de scurtcircuit

Regimul de scurtcircuit este regimul în care conductorul este parcurs de un curent de scurtcircuit; acest regim se poate caracteriza prin intensitatea curentului de scurtcircuit care este mult mai mare decît valoarea curentului de lungă durată; fenomenul are o durată scurtă deoarece intervine protecția prin relee care comandă întreruperea circuitului defect.

Pe baza acestor elemente caracteristice regimului de scurtcircuit se pot face unele observații în legătură cu încălzirea conductorului în acest regim. Astfel, datorită intensității mari a curentului, în conductor se dezvoltă o cantitate de căldură mult mai mare decît în regim de lungă durată ceea ce duce la creșterea foarte rapidă a temperaturii conductorului. Acest lucru face ca să nu se mai poată neglija mărirea rezistivității ρ și a căldurii specifice c odată cu creșterea temperaturii. Durata scurtă a fenomenului permite considerarea procesului de încălzire ca adiabatic, adică conductorul nu cedează căldură în mediul ambiant în timpul regimului de scurtcircuit. De asemenea, tot datorită duratei scurte, normele prevăd temperaturi admisibile în regim de scurtcircuit mai mari decît pentru regimul de lungă durată.

Ținînd seama de cele de mai sus, ecuația fundamentală a încălzirii pentru procesul adiabatic se scrie:

$$i_{sc}^2 R \, dt = Mc d\theta. \qquad (2-20)$$

Înlocuind în relația de mai sus: $R = \frac{\rho l}{s}$ și $M = \gamma ls$ și separînd varia-

bilele se poate scrie ecuația integrală a încălzirii conductorului pentru durata t a scurtcircuitului:

$$\int_0^t \frac{i_{sc}^2}{s^2}\,dt = \int_{\theta_i}^{\theta_{sc}} \frac{c\gamma}{\rho}\,d\theta. \qquad (2-21)$$

în care: ρ este rezistivitatea materialului conductorului, în Ωm;
s — secțiunea conductorului, în m^2;
γ — masa specifică a materialului conductorului, în kg/m^3;
c — căldură specifică a materialului conductorului, în $\frac{Ws}{(kg \cdot grd)}$;
i_{sc} — valoarea instantanee a curentului de scurtcircuit, în A;
θ_i — temperatura inițială, în °C;
θ_{sc} — temperatura finală, în °C;

Ținînd seama de faptul că ρ și c depind de temperatură după relațiile:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\theta);$$
$$c = c_0(1 + \beta\theta),$$

în care ρ_0, c_0 sînt rezistivitatea, respectiv căldura specifică a conductorului la temperatura de 0°C, iar α și β — coeficienții lor de temperatură, ecuația (2—21) se poate scrie:

$$\int_0^t \frac{i_{sc}^2}{s^2}\,dt = \frac{c_0\gamma}{\rho_0}\int_{\theta_i}^{\theta_{sc}} \frac{1 + \beta\theta}{1 + \alpha\theta}\,d\theta. \qquad (2-22)$$

Membrul drept al ecuației (2—22) se numește „rigiditate termică la scurtcircuit" și depinde în primul rînd de constantele fizice ale materialului conductorului. De asemenea, este o funcție de θ_i și θ_{sc}:

$$R(\theta_i,\ \theta_{sc}) = \frac{c_0\gamma}{\rho_0}\int_{\theta_i}^{\theta_{sc}} \frac{1 + \beta\theta}{1 + \alpha\theta}\,d\theta.$$

Prin integrare se poate obține:

$$R(\theta_i,\ \theta_{sc}) = R(0,\ \theta_{sc}) - R(0,\ \theta_i) =$$

$$= \frac{c_0\gamma}{\rho_0}\frac{\beta}{\alpha}(\theta_{sc} - \theta_i) + \frac{c_0\gamma}{\rho_0}\frac{\alpha - \beta}{\alpha^2}[\ln(1 + \alpha\theta_{sc}) - \ln(1 + \alpha\theta_i)].$$

Se observă că mărimea:

$$R_\theta = \frac{c_0\gamma}{\rho_0}\left[\frac{\beta}{\alpha}\theta + \frac{\alpha - \beta}{\alpha^2}\ln(1 + \alpha\theta)\right]$$

depinde de constantele materialului și de temperatură. Ca urmare pentru anumite materiale s-au putut trasa curbe ale acestei mărimi funcție de temperatură. În figura 2.5 sînt date astfel de curbe, construite de Ghelikonski, în care mărimea R este notată A_θ, în $(A/mm^2)^2s$. Cu ajutorul acestor curbe se poate determina temperatura finală θ_{sc}.

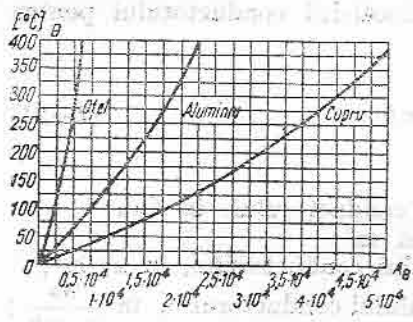


Fig. 2.5

Pentru aceasta însă este necesar să se calculeze membrul stîng al ecuației (2—22). Denumind „solicitare termică la scurtcircuit" — mărimea $S(0, t) = \int_0^t i_{sc}^2 \, dt$, acest membru stîng va fi $\frac{S(0, t)}{s^2}$.

Cunoscînd deci pe $S(0, t)$ și pe A_{θ_i} (se cunoaște θ_i) se poate determina $A_{\theta_{sc}} = A_{\theta_i} + \frac{S(0, t)}{s^2}$ și folosind curbele din figura 2.5 se poate determina θ_{sc}. Odată determinat θ_{sc} se poate compara cu valorile admisibile prescrise de norme pentru a se verifica stabilitatea termică la scurtcircuit a conductorului.

Dacă la o secțiune adoptată pentru o valoare normală a curentului se obține o temperatură de încălzire prin curent de scurtcircuit mult mai mare decît valoarea admisibilă, atunci pentru simplificarea calculului se determină secțiunea minimă admisibilă — pe baza condițiilor de încălzire în caz de scurtcircuit, cu formula:

$$s_{min} = \frac{S(0, t)}{A_{\theta_{a\,sc}} - A_{\theta_i}},$$

unde: $\theta_{a\,sc}$ este temperatura admisibilă la scurtcircuit.

În practica curentă însă, verificarea la stabilitatea termică în regim de scurtcircuit se face în alt mod. Pentru aceasta se determină într-un mod sau altul solicitarea termică la scurtcircuit $S(0,t)$ care se compară cu o valoare garantată de constructorul aparatului.

Determinarea lui $S(0,t)$ prezintă dificultăți din cauza că nu se poate exprima printr-o relație simplă variația curentului de scurtcircuit funcție de timp.

Pînă nu de mult se foloseau două metode de determinare a lui $S(0, t)$ și anume metoda timpului fictiv și metoda V.D.E. În ultimul timp însă tot mai folosită este metoda V.D.E.

Metoda timpului fictiv constă în determinarea solicitării $S(0, t)$ cu ajutorul unei expresii de forma:

$$S(0, t) = I_{p\infty}^2 t_f, \qquad (2—23)$$

unde: $I_{p\infty}$ este valoarea efectivă a componentei periodice a curentului de scurtcircuit la timpul $t = \infty$;

t_f — un timp fictiv.

După cum se vede din figura 2.6 în care este reprezentată curba $i_{sc}^2 = f(t)$ pentru generatoare fără regulator automat de tensiune, mărimea $S(0,t)$ este proporțională cu aria cuprinsă între curba respectivă, abscisă și ordonata ridicată în t—timpul de scurtcircuit.

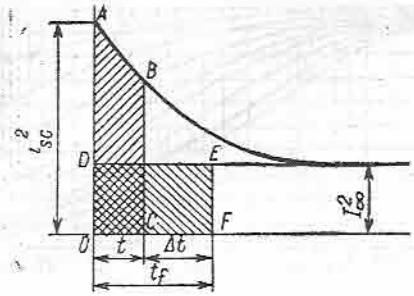


Fig. 2.6

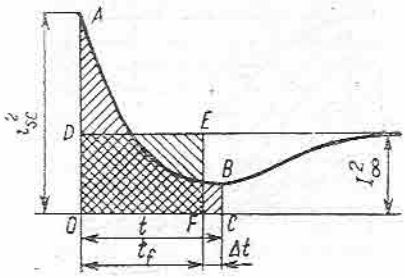


Fig. 2.7

Relaţia (2—23) reprezintă de fapt echivalarea acestei suprafeţe cu suprafaţa unei dreptunghi cu înălţimea $I^2_{p\infty}$ şi lungimea t_f. În figura 2.7 este reprezentată curba $i^2_{sc} = f(t)$ pentru generatoare cu regulator automat de tensiune. Se observă că în timpul ce în primul caz t_f este totdeauna mai mare ca timpul real t, în cel de al doilea caz t_f poate fi mai mic.

Prin urmare pentru calculul lui $S(0,t)$ este necesară determinarea timpului fictiv t_f. Acest lucru se face cu ajutorul unor curbe şi relaţii:

— din curbe se determină un timp fictiv pentru componenta periodică a curentului de scurtcircuit t_{fp};

— cu ajutorul unei relaţii se poate determina un timp fictiv pentru componenta aperiodică t_{fa}.

În final, $t_f = t_{fp} + t_{fa}$ [1].

Metoda V.D.E. foloseşte pentru calculul solicitării termice la scurtcircuit diagramele şi formulele de calcul elaborate de Roeper. Cu ajutorul acestei metode se calculează o solicitare termică dată de componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit cu relaţia:

$$S_a(0, t) = I^2_{p0} m t$$

şi o solicitare termică dată de componenta periodică a curentului de scurtcircuit cu relaţia:

$$S_p(0, t) = I^2_{p0} n t,$$

în care: I_{p0} este valoarea efectivă a componentei periodice a curentului de scurtcircuit la timpul $t = 0$;

m — factor de corecţie pentru componenta aperiodică;

n — factor de corecţie pentru componenta periodică;

t — timpul real de durată a scurtcircuitului.

Deci solicitarea termică dată de întregul curent de scurtcircuit este:

$$S(0, t) = I^2_{p0}(m + n)\, t, \qquad (2—24)$$

Factorii m şi n se pot determina analitic dar pentru uşurarea calculelor s-au trasat diagrame pentru determinarea lor. Astfel în figura 2.8 este reprezentată variaţia factorului m în funcţie de durata t a scurtcircuitului

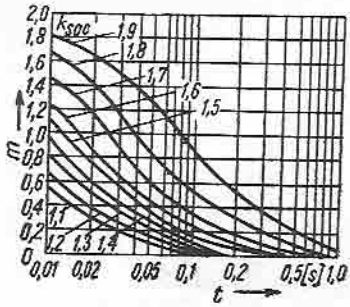


Fig. 2.8

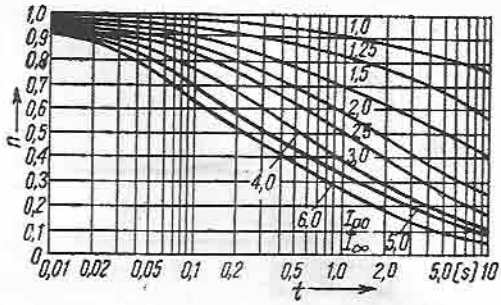


Fig. 2.9

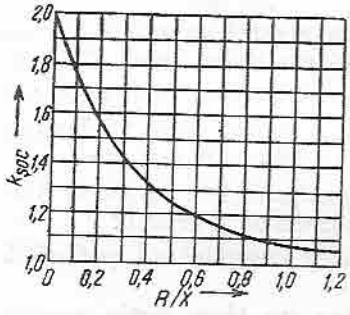


Fig. 2.10

și de coeficientul de șoc k_{soc}, iar în figura 2.9 este reprezentată variația factorului n cu raportul $\frac{I_{p0}}{I_{p\infty}}$.

În figura 2.10 este reprezentată variația coeficientului de șoc în funcție de raportul R/X al căii de scurtcircuit.

Din relația (2—24) se poate calcula valoarea curentului echivalent care produce într-o secundă același efect termic ca și curentul real de scurtcircuit:

$$I_{ech} = I_{p0}\sqrt{(m+n)t}. \quad [\text{A}] \quad (2\text{—}25)$$

Se poate determina secțiunea minimă stabilă din punct de vedere termic în cazul încălzirii provocate de curentul de scurtcircuit cu relația:

$$s_{min} = \frac{I_{ech}}{j_t} \quad [\text{mm}^2],$$

unde j_t este densitatea de curent admisibil la scurtcircuit, în A/mm², care rezultă din figura 2.11 în funcție de materialul conductorului, de tempera-

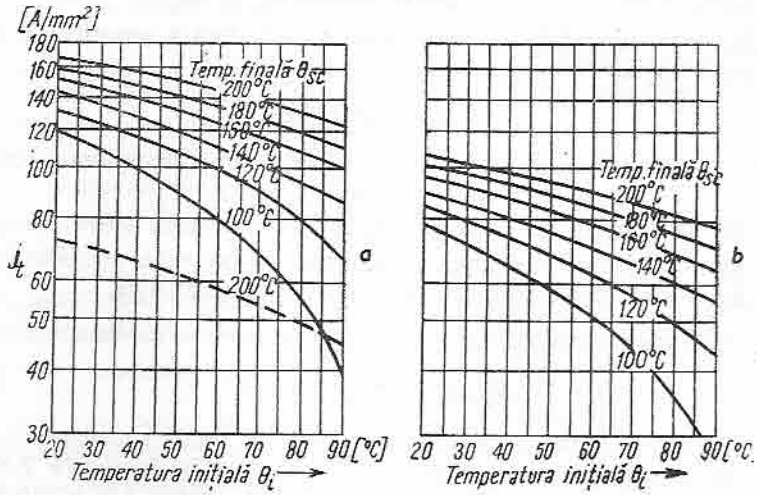


Fig. 2.11

tura sa inițială θ_i și de temperatura maximă admisibilă θ_{sc} la sfîrșitul scurtcircuitului (fig. 2.11, *a* — pentru Cu (linii pline) și OL (linie întreruptă) și fig. 2.11, *b* — pentru Al, Aldrey și OL—Al).

2.1.3. Temperaturile admisibile ale conductoarelor și aparatelor

Temperaturile admisibile pentru conductoare și aparate sînt temperaturile maxime pentru care se garantează funcționarea sigură și de lungă durată a acestora, fără modificarea proprietăților lor electrice și mecanice.

Aceste temperaturi admisibile date de standarde atît pentru regim de lungă durată, cît și pentru regim de scurtcircuit se stabilesc ținînd seama de următorii factori:

— proprietățile fizico-mecanice ale conductoarelor;
— oxidarea conductoarelor și a legăturilor de contact;
— proprietățile izolante ale materialelor electroizolante.

În figura 2.12 este trasată curba de variație a rezistenței admisibile la întindere a cuprului în funcție de temperatură, pentru încălziri de durată scurtă și lungă, din care se vede scăderea bruscă a rezistenței mecanice a cuprului la încălzire de durată lungă, peste temperatura de 100—120 °C (curba *1*) și la încălzire de durată scurtă, peste temperatura de 200—250 °C (curba *2*).

Astfel, după 10 secunde la 400 °C, rezistența mecanică la întindere a cuprului scade sub 60%, iar a aluminiului sub 40%.

Încălzirea excesivă este periculoasă pentru legăturile de contact întrucît proprietățile lor mecanice se modifică.

De asemenea, aceasta provoacă oxidarea intensă a contactelor, ceea ce conduce la mărirea rezistențelor lor de trecere rezultînd deci o creștere și mai mare a temperaturii și distrugerea lor. Cercetările au arătat că o oxidare foarte intensă are loc dacă temperatura trece de 70...75 °C, de aceea normele prevăd temperatura limită pentru contacte 75 °C.

Pentru conductoarele liniilor electrice aeriene temperatura maximă admisibilă este de 70 °C pentru a limita mărirea rezistenței de contact în punctele de înnădire a conductoarelor și reducerea rezistenței mecanice.

Încălzirea admisibilă a conductoarelor izolate este limitată din cauza creșterii pierderilor în dielectric și micșorării rigidității dielectrice odată cu creșterea temperaturii. În figura 2.13 este dată variația tensiunii de străpungere a porțelanului în funcție de temperatură. Se vede că pentru

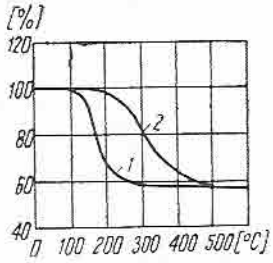


Fig. 2.12

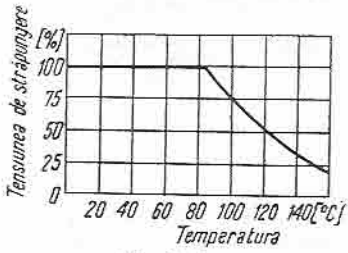


Fig. 2.13

temperaturi mai mari de 80—85°C, rigiditatea dielectrică a porţelanului scade brusc.

Pentru izolanţii organici s-a determinat experimental, că la fiecare creştere cu 8°C a temperaturii stabilizate, durata de viaţă se reduce la jumătate.

Pentru conductoarele cu izolaţie de cauciuc, temperatura maximă admisibilă este de 55°C, pentru a se evita degradarea izolaţiei.

Pentru cabluri, temperatura maximă admisibilă este funcţie de tensiunea nominală şi de natura izolaţiei; de exemplu, în cazul izolaţiei de hîrtie, aceasta este de 80°C pentru cablurile pînă la 3 kV şi de 50°C pentru cabluri de 35 kV.

Tabelul 2.3

Temperaturi maxime admisibile

Denumirea piesei (materialului)	Regim de lungă durată		Regim de scurtă durată (scurtcircuit)	Observaţii
	Temperatura maximă admisă [°C]	Supratemperatura maximă admisă [°C]	Temperatura maximă admisă [°C]	
1	2	3	4	5
Contacte de cupru în aer:				
— argintate	105	63	330	
— neargintate	75	35	300	
Contacte de cupru în ulei:				
— argintate	90	50	265	
— neargintate	75	35	300	
Părţi metalice formînd piese arcuitoare (resort)	Temperatura nu trebuie să atingă o valoare pentru care, la materialul respectiv, se depăşeşte limita de elasticitate			
Părţi metalice în contact cu materiale izolante de următoarele clase:				
— clasa *Y* (pentru materiale neimpregnate)	90	50	200	
— clasa *A* (pentru materiale cufundate în ulei sau impregnate)	100	60	250	Nu trebuie să se producă sudarea, topirea etc.
— clasa *B*, în aer	130	90	320	
— clasa *B*, în ulei	100	60	300	
— clasa *C*, în aer	130	90	320	
— clasa *C*, în ulei	110	70	300	
— email pe bază de ulei	100	60	250	
— material sintetic, în aer	120	80	270	
— material sintetic, în ulei	100	60	250	
Toate părţile metalice sau din materiale izolante în contact cu uleiul	100	60	—	
Ulei	80	40	—	
Apă (expansină)	70	30	—	

Observaţii:
— Materialele izolante sînt conform STAS 6247—60
— Temperatura mediului ambiant la care se referă supratemperaturile maxime este de +40°C

În industria electrotehnică a țării noastre, determinarea temperaturilor și supratemperaturilor maxime admise se face după mai multe standarde, ținînd seama de specificul fiecărui aparat în parte. Astfel conform STAS 3686—63 încălzirile maxime admise ale pieselor care fac parte din construcția întreruptorului de înaltă tensiune trebuie să se încadreze în limitele indicate în tabelul 2.3.

Temperaturile maxime admisibile la încălzirea de scurtă durată a părților aparatelor, prin curenții de scurtcircuit, au valori mai mari față de temperaturile admise la încălzirea de durată (tabel 2.3). Aceasta se explică prin faptul că procesul de încălzire a materialelor conductoare și izolante, precum și întregul proces de scurtcircuit se desfășoară într-un interval de timp foarte scurt (de la fracțiuni de secundă la cîteva secunde), în care interval materialele date sînt în stare să suporte aceste creșteri de temperatură fără o modificare substanțială a rezistenței mecanice și a rigidității dielectrice.

La calculele termice, temperatura este o mărime dată în limitele admise de norme pentru regimul de lungă și de scurtă durată (tabel 2.3), iar curentul admisibil (densitatea de curent) sau secțiunea necesară reprezintă o mărime care trebuie determinată.

Fabricile constructoare de aparate indică curentul de stabilitate termică I_t sau coeficientul de stabilitate termică K_t la scurtcircuite a aparatelor.

În cazul în care se cunoaște curentul de stabilitate termică I_t pentru timpul t, I'_t pentru timpul t' secunde se determină cu formula:

$$I'_t = I_t \sqrt{\frac{t}{t'}}.$$

2.2. Forțele electrodinamice în conductoare și aparate electrice

2.2.1. Considerații generale

În acest capitol se tratează metodele de calcul a forțelor electrodinamice care se exercită între circuitele electrice (bare și diverse elemente ale aparatelor) parcurse de curenți electrici.

De asemenea, tot în acest capitol, sînt prezentate și cîteva cazuri reprezentative de calcul a forțelor electrodinamice care se exercită în instalațiile de curent alternativ, atît în regim normal de funcționare cît și în regim de scurtcircuit.

Forțele electrodinamice tind să deformeze și să deplaseze circuitele electrice, astfel încît fluxul magnetic care străbate contururile circuitelor respective să crească. Aceste forțe electrodinamice au valori relativ mici în cazul regimurilor normale de funcționare. În cazul regimurilor de avarie (scurtcircuit), forțele electrodinamice pot lua valori foarte mari și deci pot provoca distrugeri importante în echipamentele electrice parcurse de curenții de defect.

În cazul echipamentelor electrice de înaltă tensiune aceste forțe electrodinamice variază în limite foarte largi, de la cîțiva decanewtoni la cîteva

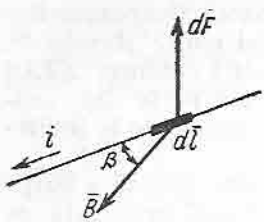


Fig. 2.14

zeci de mii de decanewtoni, funcție de valoarea maximă instantanee a curentului, de lungimea, forma și poziția reciprocă a circuitelor străbătute de curent, precum și de proprietățile magnetice ale mediului în care se găsesc circuitele respective.

Este necesar, deci, ca echipamentele electrice să fie astfel dimensionate sau alese încît să se asigure stabilitatea mecanică (electrodinamică) a acestora.

Stabilitatea electrodinamică a aparatelor electrice caracterizează capacitatea lor de a rezista la acțiunile mecanice ale curenților electrici.

Relațiile generale de calcul a forțelor electrodinamice au la bază teorema Biot-Savart-Laplace sau principiul variației energiei electromagnetice înmagazinate de circuit (Maxwell).

După formula lui Laplace, asupra unui element de conductor (figura 2.14) de lungimea $d\bar{l}$, care face parte dintr-un circuit închis parcurs de un curent i, acționează o forță electrodinamică elementară $d\bar{F}$:

$$d\bar{F} = i\,[d\bar{l} \times \bar{B}], \qquad (2-26)$$

unde $\bar{B}$ este inducția magnetică a cîmpului în punctul în care se găsește elementul localizat $d\bar{l}$.

Forța elementară $d\bar{F}$ este perpendiculară pe planul format de vectorii $d\bar{l}$ și $\bar{B}$. Modulul său este:

$$|d\bar{F}| = i\,B\,\sin\beta\,dl,$$

unde β este unghiul dintre $\bar{B}$ și $d\bar{l}$ (figura 2.14).

Forță totală ce acționează asupra conductorului de lungime l este integrala (2—26) pe lungimea l:

$$\bar{F} = i\int_{l} [d\bar{l} \times \bar{B}].$$

Dacă se consideră un contur simplu (figura 2.15) inducția magnetică a cîmpului produs de elementul $d\bar{l}'$ parcurs de curentul i în punctul în care este localizat elementul dl este exprimată prin relația Biot-Savart-Laplace:

$$\bar{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\, i \oint_{C} \frac{d\bar{l}' \times \bar{r}_0}{r^2}, \qquad (2-27)$$

în care: $d\bar{l}'$ este elementul de lungime din contur; sensul vectorului $d\bar{l}'$ coincide cu sensul curentului;

r — distanța dintre elementele conturului $d\bar{l}'$ și $d\bar{l}$ (fig. 2.15);

$\bar{r}_0$ — vectorul unitar avînd direcția de la $d\bar{l}'$ la $d\bar{l}$;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m — valoarea permeabilității vidului.

Integrala (2—27) se calculează de-a lungul conturului închis străbătut de curentul i. Dacă în afară de conturul străbătut de curentul i, există

și alte contururi străbătute de curenții i_1, i_2 etc., atunci integrala (2—27) se calculează de-a lungul tuturor contururilor.

În forma scalară relația (2—27) se scrie:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} i \oint_c \frac{dl' \sin \alpha}{r^2},$$

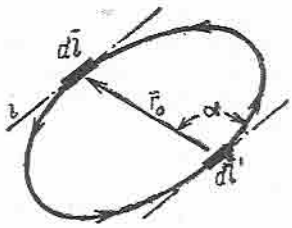


Fig. 2.15

unde α este unghiul dintre $d\bar{l}'$ și $\bar{r}_0$.

Vectorul B este perpendicular pe planul care cuprinde vectorii $d\bar{l}'$ și $\bar{r}_0$.

Forța elementară, exprimată în N, este:

$$dF = 10^{-7} i B \sin \beta \, dl. \qquad (2—28)$$

Dacă inducția magnetică B și unghiul β sînt constante pe toată lungimea conductorului, cu alte cuvinte în cazul cînd conductorul se află într-un cîmp magnetic, expresia (2—28) devine:

$$F = 10^{-7} i B l \sin \beta, \ [\mathrm{N}] \qquad (2—29)$$

dacă se exprimă curentul în A, inducția în T, lungimea în m.

În cazul particular, cînd direcția curentului formează un unghi drept cu direcția cîmpului de inducție magnetică, atunci $\beta = \frac{\pi}{2}$, $\sin\beta = 1$ și forța se calculează cu expresia:

$$F = 10^{-7} i B l. \ [\mathrm{N}] \qquad (2—30)$$

Teorema Biot-Savart-Laplace se folosește pentru calculul forțelor electrodinamice numai cînd configurația circuitelor străbătute de curent este destul de simplă. Pentru circuite de formă complicată, de exemplu bobine de reactanță, transformatoare de intensitate etc., folosirea formulei Biot-Savart-Laplace duce la expresii complicate. Expresii mai simple se pot obține pentru aceste cazuri, folosind principiul variației energiei înmagazinate în cîmpul electromagnetic.

În aparate, contururile pot avea astfel de poziții, încît o parte din fluxul magnetic al fiecărui contur străbate și celălalt contur; în acest caz există și inductanța mutuală a sistemului. Sistemul astfel format din două contururi (figura 2.16) legate inductiv posedă o energie electromagnetică acumulată, care se poate exprima prin:

$$W = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i + M i_1 i_2, \qquad (2—31)$$

unde: L_1 este inductanța proprie a primului contur; L_2 — inductanța proprie a celui de-al doilea contur; M — inductanța mutuală a celor două contururi; i_1 — curentul în primul contur; i_2 — curentul în al doilea contur; W — energia electromagnetică.

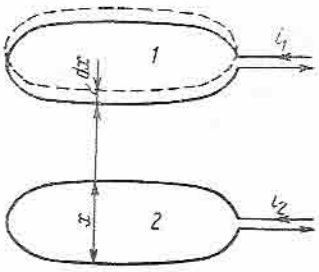


Fig. 2.16

Forţele electrodinamice care iau naştere la trecerea curenţilor i_1 şi i_2, tind să modifice dimensiunile sistemului în direcţiile lor de acţionare. Dacă în acest caz sistemul se deformează într-o direcţie oarecare x, aceasta atrage după sine modificarea valorilor inductanţelor proprii şi inductanţei mutuale. Rezultă că energia înmagazinată în cîmpul electromagnetic va varia cu cantitatea dW. Conform legii conservării energiei, variaţia energiei electromagnetice dW este egală cu lucrul mecanic produs de forţa F_x, care deformează contururile cu mărimea dx:

$$dW = F_x\, dx; \qquad F_x = \frac{dW}{dx}\bigg|_{i=\text{const.}}$$

Derivata $\frac{dW}{dx}$ se calculează din expresia (2—31), admiţînd că valorile curenţilor nu depind de deformaţia circuitelor:

$$F_x = \frac{dW}{dx} = \frac{i_1^2}{2}\frac{dL_1}{dx} + \frac{i_2^2}{2}\frac{dL_2}{dx} + i_1 i_2 \frac{dM}{dx}. \qquad (2—32)$$

Dacă este necesar să se determine forţa electrodinamică interioară în primul contur, adică forţa care produce numai deformarea acestui contur, se foloseşte expresia (2—32) şi se ţine seama că, în acest caz, inductanţa acestui contur variază cu mărimea dL_1, iar inductanţele L_2 şi M rămîn neschimbate.

Forţa interioară în primul contur este deci:

$$F_{x_1} = \frac{i_1^2}{2}\frac{dL_1}{dx}. \qquad (2—33)$$

Pentru determinarea forţei dintre contururi se consideră L_1 şi L_2 constante şi se obţine:

$$F_{x_{12}} = i_1 i_2 \frac{dM}{dx}, \qquad (2—34)$$

în care x este distanţa dintre contururi.

Pentru a calcula expresiile (2—33) şi (2—34) trebuie să se cunoască dependenţa inductanţelor proprii L şi a inductanţei mutuale M de dimensiunile contururilor.

Direcţiile forţelor pot fi determinate cu ajutorul regulii burghiului drept.

În circuitele de curent continuu, în formulele (2—31) şi (2—34) se introduc valorile constante ale curenţilor I, I_1 şi I_2.

În circuitele de curent alternativ, forţele electrodinamice se calculează cu aceleaşi formule, înlocuind curenţii I, I_1 şi I_2 prin valorile instantanee ale curenţilor alternativi.

Forţa electrodinamică interioară unui contur străbătut de curentul alternativ monofazat $i_1 = I_{m1} \sin \omega t$ se obţine introducînd expresia sa în formula (2—33):

$$F_{x1} = \frac{1}{2} I_{m1}^2 \sin^2 \omega t \frac{dL_1}{dx} = k\, I_{m1}^2 \sin^2 \omega t$$

sau

$$F_{x1} = k\, I_{m1}^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{k I^2_{m1}}{2} - \frac{k I^2_{m1}}{2} \cos 2\,\omega t, \qquad (2—35)$$

unde I_{m1} este amplitudinea curentului alternativ sinusoidal. Forţa electrodinamică variază sinusoidal cu o frecvenţă dublă faţă de frecvenţa curentului şi are două componente: o componentă de valoare constantă $F'_{x1} = \frac{kI^2_{m1}}{2}$ şi o componentă variabilă $F''_{m1} = \frac{kI^2_{m1}}{2} \cos 2\omega t$.

În figura 2.17 sînt reprezentate grafic aceste componente precum şi forţa rezultantă F_{x1}. Forţa rezultantă este totdeauna pozitivă şi variază între zero şi valoarea sa maximă:

$$(F_{x1})_{max} = kI^2_{m1}.$$

Valoarea medie a forţei în cazul considerat este deci:

$$(F_{x1})_{med} = \frac{kI^2_{m1}}{2} = kI^2_1,$$

în care I_1 este valoarea efectivă a curentului ($I_{m1} = \sqrt{2}I_1$).

Se observă că valoarea medie a forţei electrodinamice în cazul curentului alternativ monofazat este proporţională cu pătratul valorii efective a curentului.

Relaţiile de calcul şi concluziile sînt valabile atît în cazul a două conductoare dintr-un circuit monofazat, parcurse de acelaşi curent alternativ, cît şi în cazul unui scurtcircuit bifazat într-un circuit trifazat, cînd curentul de scurtcircuit parcurge doar două conductoare.

În general, curentul de scurtcircuit conţine pe lîngă componenta periodică şi o componentă aperiodică. Situaţia cea mai defavorabilă din punct de vedere al forţelor electrodinamice are loc în prima semiperioadă a scurtcircuitului, cînd curentul rezultant atinge valoarea maximă.

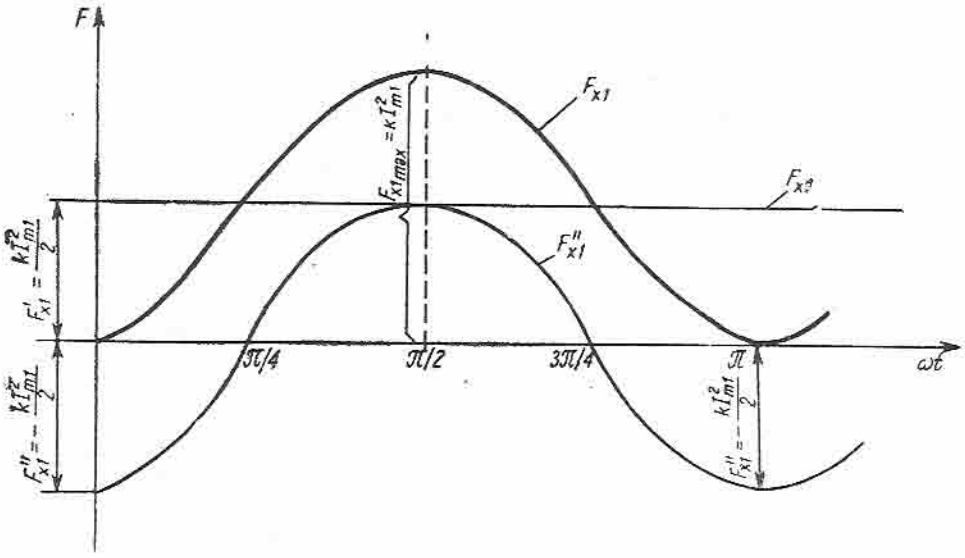


Fig. 2.17

La un scurtcircuit monofazat şi în cazul cînd scurtcircuitul se produce în momentul cînd tensiunea electromotoare trece prin zero, curentul de scurtcircuit variază după legea:

$$i_{sc} = \sqrt{2}I\left(e^{-\frac{t}{T}} - \cos \omega t\right),$$

unde: I este valoarea efectivă a componentei periodice a curentului, egală cu valoarea efectivă a tensiunii împărţită cu impedanţa circuitului;

T — constanta de timp a componentei aperiodice a curentului, a cărei valoare depinde de parametrii generatorului şi ai circuitului.

Valoarea forţei electrodinamice interioare este, în caz de scurtcircuit:

$$F_{x1} = ki_{sc}^2 = k2I^2\left(e^{-\frac{t}{T}} - \cos \omega t\right)^2.$$

În momentul $t = \frac{\pi}{\omega}$ curentul atinge valoarea sa maximă egală cu:

$$i_{sc\ max} = \sqrt{2} \cdot 1{,}81\ I \text{ (pentru } T = 0{,}05 \text{ s)}.$$

Valoarea maximă a forţei electrodinamice va fi:

$$(F_{x1})_{max} = ki_{sc\ max}^2 = 6{,}4kI^2.$$

Variaţia curentului de scurtcircuit monofazat şi variaţia forţei electrodinamice în funcţie de timp este dată în figura 2.18. Se vede în figură că o semiundă a forţei electrodinamice are un vîrf care se amortizează treptat, iar a doua semiundă are un vîrf care se măreşte treptat; din momentul cînd componenta aperiodică a curentului se anulează, ambele vîrfuri devin egale şi curba devine identică cu curba din figura 2.17. Pe măsură ce componenta periodică a curentului de scurtcircuit se micşorează, forţele electrodinamice se vor micşora şi mai mult.

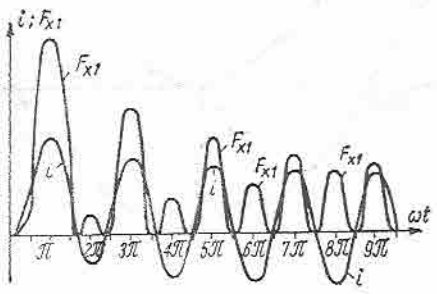


Fig. 2.18

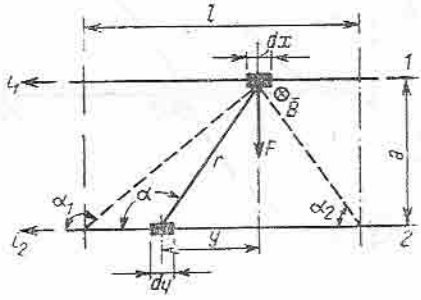


Fig. 2.19

2.2.2. Forțele electrodinamice în cele mai simple sisteme

a. Conductoare rectilinii, paralele, de lungime infinită și de secțiune neglijabilă

Acest calcul este util în practică, de exemplu, în cazul unui sistem de bare fixate pe izolatoare suport, cînd trebuie determinată forța exercitată asupra unei porțiuni de bară de lungime l dintre două izolatoare suport.

Dacă conductoarele sînt străbătute de curenții i_1 și i_2, acțiunea reciprocă între ele se determină ușor după teorema Biot-Savart-Laplace (figura 2.19). Se consideră două elemente infinit mici dx și dy pe cele două conductoare. Elementul dx este luat ca origine pentru stabilirea lungimii conductoarelor. De la acest element conductoarele ajung într-o parte și în cealaltă pînă la $-\infty$ și $+\infty$.

Conform expresiei (2—27), inducția magnetică elementară datorită curentului i_2, care parcurge elementul dy în punctul în care se găsește elementul dx poate fi determinată cu relația:

$$dB = \frac{\mu_0 i_2 dy}{4\pi r^2} \sin \alpha.$$

Inducția magnetică totală produsă de întreg conductorul *2* în același punct este:

$$B = \frac{\mu_0 i_2}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dy}{r^2} \sin \alpha.$$

Sensul pozitiv pentru y coincide cu sensul curentului din conductorul *2*. Considerînd poziția elementului de conductor dx drept origină, rezultă:

$$y = -a \operatorname{ctg} \alpha; \quad dy = \frac{a\, d\alpha}{\sin^2 \alpha} \quad \text{și} \quad r = \frac{a}{\sin \alpha}.$$

Deci:

$$B = \frac{\mu_0 i_2}{4\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sin \alpha}{a} d\alpha = \frac{\mu_0 i_2}{4\pi} \left| -\frac{\cos \alpha}{a} \right|_0^{\pi} = \frac{\mu_0 i_2}{4\pi} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a} \right) = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi a}.$$

Vectorul inducției $\bar{B}$ are direcția perpendiculară pe planul format de conductoarele *1* și *2*. Sensul vectorului $\bar{B}$ se poate determina după regula burghiului drept.

Forța elementară care acționează asupra elementului dx al conductorului *1* este, conform formulei (2—29):

$$dF = i_1 B \sin \beta dx.$$

Întrucît inducția $\bar{B}$ are direcția perpendiculară pe planul conductoarelor $\beta = \frac{\pi}{2}$, $\sin \beta = 1$ deci:

$$dF = i_1 B dx.$$

Forța care acționează asupra unei porțiuni de lungime l a conductorului *1*, se obține prin integrarea expresiei forței elementare dF:

$$F = \int_0 i_1 B dx = i_1 B l$$

sau ținînd seama de valoarea lui B:

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{2\pi a}.$$

Înlocuind în formula de mai sus valoarea $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$ rezultă:

$$F = 2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 \frac{l}{a}, \text{ [N]} \qquad (2-36)$$

în care mărimile l și a se exprimă în aceeași unitate de măsură.

Expresia (2—36) se poate deduce și cu ajutorul relației (2—34).

Formula inductanței mutuale între două conductoare paralele de lungime l, situate la distanța a este:

$$M = 2l\left[\ln \frac{2l}{a} - 1\right] 10^{-7} \text{ [H]}$$

deci:

$$F = i_1 i_2 \frac{dM}{da}$$

$$\frac{dM}{da} = 2l \frac{\frac{2l}{a^2}}{\frac{2l}{a}} 10^{-7} = \frac{2l}{a} 10^{-7}.$$

Rezultă expresia forței F identică cu expresia (2—36):

$$F = 2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 \frac{l}{a}.$$

Forța F este perpendiculară pe vectorul inducției și pe conductorul *1* (figura 2.19). Formula (2—36) dă rezultate suficient de exacte în cazul cînd secțiunea transversală a conductoarelor este relativ mică față de distanța între conductoare. Sensul forțelor este astfel, încît pentru curenți de același sens, conductoarele tind să se apropie (forțe de atracție), iar pentru curenți de sensuri contrare, conductoarele tind să se depărteze unul de celălalt (forțe de respingere). La stabilirea formulei (2—36) s-a considerat cîmpul de inducție uniform pe toată lungimea conductorului, ceea ce este riguros valabil pentru conductoare de lungime infinită. Dacă conductoarele au lungimi finite formula (2—36) dă erori.

b. Conductoare rectilinii, paralele, de lungime finită şi de secţiune neglijabilă

Pentru a ţine seama de lungimile finite ale conductoarelor, expresia (2—27) trebuie integrată între limitele α_1 şi α_2:

$$B = \frac{\mu_0 i_2}{4\pi} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\sin \alpha}{a} \, d\alpha = \frac{\mu_0 i_2}{4\pi} \left| -\frac{\cos \alpha}{a} \right|_{\alpha_1}^{\alpha_2} =$$

$$= \frac{\mu_0 i_2}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

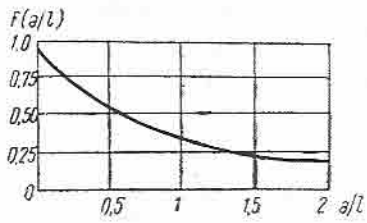


Fig. 2.20

Se obţine:

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 \frac{2l}{a} \left[\sqrt{1 + \frac{a^2}{l^2}} - \frac{a}{l} \right] \quad [\mathrm{N}]$$

sau notînd cu $f\left(\frac{a}{l}\right) = \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l}$,

$$F = 2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 \frac{l}{a} f\left(\frac{a}{l}\right). \quad [\mathrm{N}]$$

Deci, în expresia forţei intervine o funcţie de corecţie $f\left(\frac{a}{l}\right)$ care ţine seama de lungimea finită a conductoarelor (figura 2.20).

În cazul cînd raportul dintre distanţa între conductoare şi lungimea lor este relativ mic, se poate folosi cu suficientă aproximaţie formula (2—36).

În cazul că nu este îndeplinită această condiţie, formula (2—36) dă naştere la erori inacceptabile. Aceasta se explică prin faptul că nu se ţine seama de neuniformitatea cîmpului de inducţie magnetică de la capetele conductoarelor (la conductoarele de lungime infinită cîmpul magnetic este uniform în lungul lor).

c. Conductoare paralele, drepte, cu secţiune dreptunghiulară

Se consideră b foarte mic faţă de dimensiunile a şi h, iar lungimea conductoarelor infinit mare. Ambele conductoare sînt de lungime foarte mare, teoretic infinită, dar se calculează forţa exercitată asupra porţiunii de lungime l (figura 2.21). Se admite o densitate de curent constantă. În conductoare se iau tuburi de curent de secţiuni $b\,dx$ şi $b\,dy$. Forţele de acţiune reciprocă între tuburile de curent elementare de lungime l pot fi calculate cu formula (2—36), întrucît lăţimea secţiunii tuburilor este cu mult mai mică decît distanţa între ele. În locul curenţilor i_1 şi i_2 din formula (2—36) se introduc curenţii din tuburile ele-

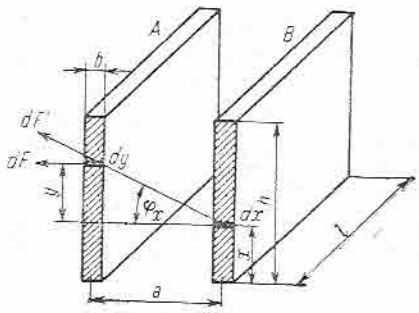


Fig. 2.21

mentare $i_1 \frac{dy}{h^*_3}$ şi $i_2 \frac{dx}{h}$, iar în locul mărimii a — distanţa dintre tuburi $\sqrt{a^2 + y^2}$. Astfel:

$$dF' = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l dx dy}{2\pi h^2 \sqrt{a^2 + y^2}}. \qquad (2-37)$$

Proiecţia acestor forţe pe perpendiculara la suprafeţele faţă în faţă ale conductoarelor este:

$$dF = dF' \cos \varphi_x,$$

dar $\cos \varphi_x = \frac{a}{\sqrt{a^2 + y^2}}$.

Rezultă:

$$dF = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l a}{2\pi h^2} \frac{dx dy}{a^2 + y^2}. \qquad (2-38)$$

Integrînd expresia (2—38) se obţine forţa ce acţionează între conductoare pe lungimea l:

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l a}{2\pi h^2} \int_0^h dx \int_{-x}^{h-x} \frac{dy}{a^2 + y^2} = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l a}{2\pi h^2} \left[2 \frac{h}{a} \operatorname{arctg} \frac{h}{a} - \ln \left(1 + \frac{h^2}{a^2} \right) \right].$$

Înlocuind $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$ rezultă:

$$F = 2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 \frac{al}{h^2} \left[2 \frac{h}{a} \operatorname{arctg} \frac{h}{a} - \ln \left(1 + \frac{h^2}{a^2} \right) \right] [N], \qquad (2-39)$$

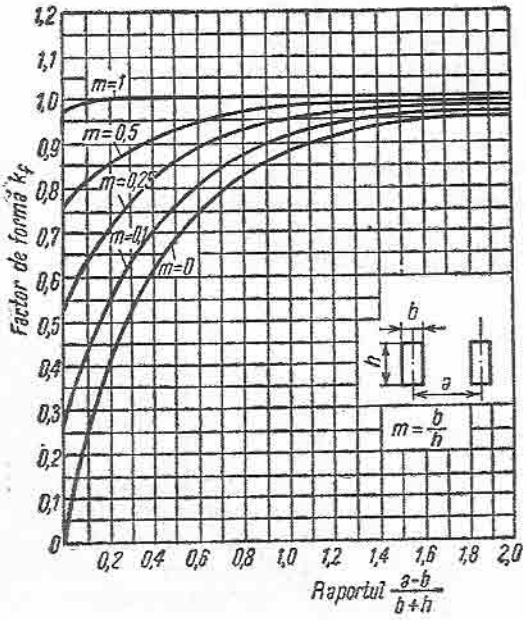


Fig. 2.22

în care mărimile a, l şi h sînt exprimate în aceeaşi unitate de măsură.

La calculul expresiei (2—39) s-a considerat că dimensiunea b a conductorului este neglijabilă faţă de dimensiunile a şi h. În cazul cînd dimensiunea b este comparabilă ca mărime cu dimensiunile a şi h, la stabilirea formulei de calcul trebuie să se integreze pe secţiunea conductorului. Rezultă formule foarte complicate şi, de aceea, se foloseşte în calcule formula (2—36) introducînd un coeficient funcţie de poziţiile reciproce ale barelor. Formula (2—36) devine în acest caz:

$$F = 2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 \frac{l}{a} k_f. \ [N] \qquad (2-40)$$

Coeficientul k_f se numeşte *coeficient de formă* pentru bare şi se poate citi în diagrama din figura 2.22 (curbele lui Dwight). În această diagramă coeficientul k_f este dat în funcţie de rapoartele

$\frac{a-b}{b+h}$ şi $\frac{b}{h}$ unde b şi h sînt dimensiunile barelor, iar a distanţa între axele lor. Precum se vede din această diagramă, valoarea coeficientului k_f variază în limitele 0...1,4, iar pentru $\frac{a-b}{b+h} \geqslant 2$, adică pentru distanţe libere $a_0 = a - b$ între bare (dintre feţele adiacente ale barelor) egale sau mai mari decît perimetrul barelor $2(b + h)$, coeficientul k_f este în mod practic egal cu unitatea. Pentru cele mai multe cazuri practice această condiţie este respectată. De exemplu, pentru distanţa de 50...60 cm dintre axele barelor de pe faze diferite şi în cazul folosirii barelor cu secţiunea standardizată 120 × 10 mm², barele fiind astfel aşezate încît laturile mari să fie faţă în faţă, distanţa liberă dintre bare a_0 va fi 49...59 cm faţă de perimetrul de 26 cm. Deci determinarea forţelor rezultate din acţiunea reciprocă a barelor diferitelor faze se poate face cu formula (2—36).

Influenţa dimensiunilor barelor nu poate fi neglijată în calculul forţelor de acţiune reciprocă dintre barele care formează un pachet, unde distanţa liberă între bare este, de obicei, egală cu grosimea unei bare. Din această cauză, coeficientul k_f este diferit de unitate şi folosirea lui dă rezultate mai precise în calcule. De menţionat că, în cazul curentului alternativ, din cauza neuniformităţii repartiţiei curentului pe secţiunea barei datorită efectului de apropiere, forţele calculate după formula (2—40) vor fi întrucîtva diferite de cele reale, întrucît coeficientul k_f nu ţine seama de acest efect.

d. Conductoare de secţiune circulară, paralele, cu punte

Acest caz se întîlneşte deseori în aparatele electrice (figura 2.23). La întreruptoare, de exemplu, rolul punţii este îndeplinit de traversa cu contactele mobile (figura 2.23,*b*); la separatoare cu două izolatoare de trecere puntea este cuţitul (figura 2.23,*c*) etc.

Curentul electric, într-un astfel de circuit, produce forţe care acţionează asupra punţii şi tinde s-o îndepărteze de conductoare. Aceste forţe pot fi determinate aplicînd principiul variaţiei energiei înmagazinate în circuitul respectiv. Avînd un singur circuit, $L_2 = 0$ şi $M = 0$ astfel încît expresia forţei în direcţia x este:

$$F = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx}.$$

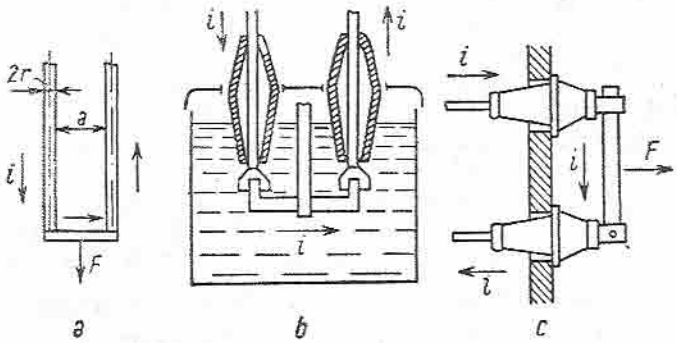


Fig. 2.23

Inductanța buclei, limitată de conductoarele paralele de lungime l[m] și de punte este:

$$L = 4l\left[\ln \frac{a}{r} + 0{,}25\right] 10^{-7}, \quad [\mathrm{H}]$$

unde: a este distanța dintre conductoarele paralele, în m;

r — raza conductorului, în m (fig. 2.23,*a*).

Pentru determinarea forței care acționează asupra punții este necesar să se calculeze derivata inductanței buclei în funcție de lungimea ei:

$$\frac{dL}{dl} = 4\left[\ln \frac{a}{r} + 0{,}25\right] 10^{-7},$$

astfel că forța care acționează asupra punții este:

$$F = \frac{i^2}{2} 4\left(\ln \frac{a}{r} + 0{,}25\right) \cdot 10^{-7};$$

$$F = 2\, i^2\left(\ln \frac{a}{r} + 0{,}25\right) \cdot 10^{-7} \quad [\mathrm{N}]. \qquad (2-41)$$

Conductoarele paralele sînt, de asemenea, supuse la forțe electrodinamice care tind să desfacă bucla. Pentru determinarea forței, care acționează asupra unuia dintre conductoare de lungime l trebuie să se calculeze derivata inductanței în funcție de a:

$$\frac{dL}{da} = 4l \frac{\frac{1}{r}}{\frac{a}{r}} \cdot 10^{-7} = \frac{4l}{a} 10^{-7},$$

astfel că forța este:

$$F_a = 2 \cdot 10^{-7} i^2 \frac{l}{a} \quad [\mathrm{N}].$$

Forțele care acționează asupra punții sînt mai importante decît cele care acționează asupra conductoarelor paralele, nu prin valoarea lor, ci datorită faptului că îmbinările dintre punte și conductoare sînt puncte slabe. Forțele care acționează asupra punților în instalațiile de mare putere sînt foarte importante. De exemplu, la unele tipuri de întreruptoare, pentru curenți de scurtcircuit de cîteva zeci de mii de amperi, forța ce acționează asupra traversei atinge cîteva sute de dacanewtoni. Această forță poate să provoace o declanșare arbitrară a întreruptorului. La anclanșarea întreruptorului pe scurtcircuit, mecanismul său de acționare trebuie să învingă forța și să execute anclanșarea întreruptorului pînă la capăt.

e. Conductoare de secțiune circulară îndoite sub un unghi drept.

Astfel de cazuri se întîlnesc în aparate. De exemplu, conductorul de trecere și cuțitul separatorului formează un unghi drept (figura 2.24, *b*).

Forța ce acționează asupra unui conductor al unghiului (fig. 2.24,*a*) se determină în mod analog ca pentru două conductoare paralele cu punte, luînd expresia inductanței:

$$L = 2l\left(\ln\frac{a}{r} + 0{,}25\right)10^{-7},\ [\mathrm{H}]$$

unde a este lungimea elementului mobil. Forța se va calcula cu relația:

$$F = i^2\left(\ln\frac{a}{r} + 0{,}25\right)10^{-7}\ [\mathrm{N}]. \qquad (2-42)$$

Sub acțiunea acestor forțe cuțitul tinde să se desfacă. Pentru un curent de scurtcircuit de 10 kA, lungimea cuțitului $a = 0{,}3$ m, diametrul barei conductoare a izolatorului de trecere $2r = 30 \cdot 10^{-3}$m, cuțitul separatorului este supus la o forță de $F = 325$ da N. Dacă nu se iau măsuri speciale, se poate întîmpla ca separatorul să se deschidă de la sine, ceea ce va provoca distrugeri grave. De aceea, separatoarele sînt prevăzute cu un dispozitiv de blocare care împiedică autodeschiderea lor și se realizează astfel, încît forța care tinde să deschidă separatorul să fie minimă. Acest lucru se obține creînd prin separator un drum drept pentru curent.

f. Spiră circulară

Cînd curentul trece prin spiră, fluxul magnetic tinde să mărească suprafața din interiorul spirei și, ca o consecință, forțele acționează pe spiră din interior către exterior, în direcție radială. Dacă spira se va întinde, inductanța ei se va modifica. Al doilea contur în acest caz lipsește, deci $L_2 = 0$ și $M = 0$ (figura 2.25).

Expresia (2—33) devine:

$$F = \frac{i_1^2}{2}\frac{\mathrm{d}L_1}{\mathrm{d}x}.$$

Inductanța spirei este:

$$L_1 = 4\pi R\left(\ln\frac{8R}{r} - 1{,}75\right)\cdot 10^{-7},\ [\mathrm{H}]$$

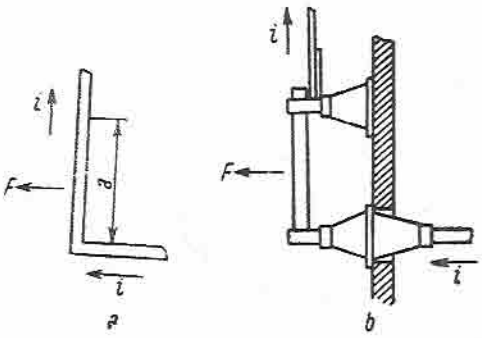


Fig. 2.24

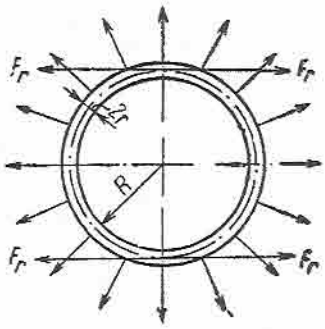


Fig. 2.25

unde: R este raza spirei, în m;

r — raza conductorului din care este executată spira, în m.

Acțiunea forțelor este radială, deci:

$$\frac{dL_1}{dx} = \frac{dL_1}{dR} = 4\pi\left(\ln\frac{8R}{r} - 0{,}75\right)\cdot 10^{-7}.$$

Expresia forței după înlocuirea derivatei $\frac{dL_1}{dx} = \frac{dL_1}{dR}$ devine:

$$F = \frac{i_1^2}{2}\,4\pi\left(\ln\frac{8R}{r} - 0{,}75\right)10^{-7} = 2\pi i_1^2\left(\ln\frac{8R}{r} - 0{,}75\right)10^{-7}. \quad [\text{N}] \quad (2-43)$$

Forța F este forța totală care acționează pe toată lungimea spirei. Împărțind această forță la lungimea spirei exprimată în m, se obține forța radială în N/m, care revine unui metru de lungime a spirei:

$$f = \frac{F}{2\pi R} = 10^{-7} i_1^2 \frac{1}{R}\left(\ln\frac{8R}{r} - 0{,}75\right). \quad (2-44)$$

Forța F_r care rupe spira într-o secțiune oarecare este semisuma tuturor forțelor care acționează pe jumătatea spirei și anume:

$$F_r = f\frac{\pi R}{2} = \frac{\pi}{2}\,10^{-7} i_1^2\left(\ln\frac{8R}{r} - 0{,}75\right).$$

2.2.3. Forțele electrodinamice în sisteme trifazate

Pînă acum s-a examinat calculul forțelor electrodinamice dintre diferite elemente separate ale unui sistem trifazat, străbătute de curentul de fază respectiv. Dar pentru calculul mecanic al barelor din stațiile electrice și al aparatelor trifazate, este necesar să se arate cum se determină forțele electrodinamice care acționează pe fiecare fază în sistemul trifazat ca rezultat al acțiunii reciproce dintre curentul unei faze și curenții din celelalte faze. În acest scop, se vor determina forțele electrodinamice în sistemul trifazat pentru conductoare așezate în același plan. Fie un sistem trifazat de trei conductoare a, b, c așezate în același plan la distanța a între ele (figura 2.26). Exemple de astfel de sisteme trifazate sînt: barele stațiilor așezate în același plan, conductoarele de intrare și ieșire la transformatoarele și întreruptoarele trifazate etc.

În cele ce urmează se va calcula forța electrodinamică maximă ce acționează asupra conductoarelor sistemului trifazat, cînd sînt străbătute de

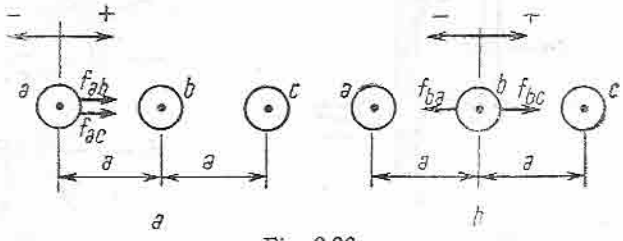


Fig. 2.26

componenta periodică a curentului de scurtcircuit trifazat (se neglijează componenta aperiodică), considerînd că amplitudinea ei nu se amortizează. Valorile instantanee ale curenților în fazele a, b și c sînt:

$$i_a = I_m \sin \omega t$$

$$i_b = I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$i_c = I_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right),$$

unde I_m este amplitudinea componentei periodice a curentului.

În sistemul trifazat cu așezarea conductoarelor în același plan, conductoarele extreme se găsesc în condiții diferite față de conductorul din mijloc. Pentru determinarea forței maxime se vor calcula forțele ce acționează asupra conductoarelor extreme și asupra celui din mijloc și se vor compara. Forțele ce acționează asupra conductoarelor vor fi raportate la unitatea de lungime ($l = 1$ m) și exprimate în N/m.

Asupra conductorului a străbătut de curentul i_a acționează forțele f_{ab} și f_{ac}, produse de acțiunea reciprocă între curenții i_a și i_b, respectiv i_a și i_c (figura 2.26,*a*):

$$f_{ab} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_a i_b}{a} = 2 \cdot 10^{-7} I_m^2 \sin \omega t \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \frac{1}{a};$$

$$f_{ac} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_a i_c}{2a} = 2 \cdot 10^{-7} I_m^2 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \frac{1}{2a}.$$

Forța f_a rezultă din însumarea algebrică a componentelor f_{ab} și f_{ac}:

$$f_a = f_{ab} + f_{ac} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{1}{a} i_a (i_b + 0{,}5 i_c) = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \varphi_a(\omega t), \quad (2-45)$$

în care s-a notat

$$\varphi_a(\omega t) = \sin \omega t \left[\sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + 0{,}5 \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)\right]. \quad (2-46)$$

Funcția $\varphi_a(\omega t)$ se poate transforma astfel:

$$\varphi_a(\omega t) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t \cos (\omega t - 60°).$$

Deci, forța f_a variază în timp conform expresiei:

$$f_a = -2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t \cos (\omega t - 60°).$$

Valoarea maximă a forței f_a se obține prin anularea derivatei:

$$\frac{df_a}{dt} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \cos (2\omega t - 60°) = 0,$$

de unde: $\omega t = (2k + 1) \frac{\pi}{4} + 30°$, adică $\omega t = 75$; 165 etc.

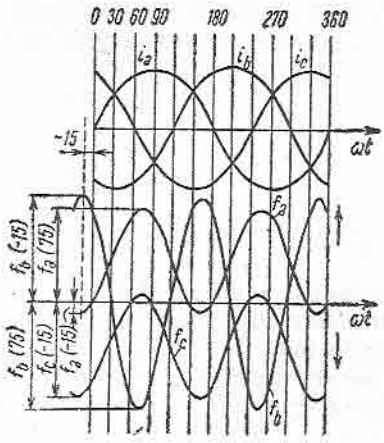


Fig. 2.27

Valoarea maximă a forţei de respingere:

$$f_a(75°) = -0{,}808 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} =$$

$$= 1{,}616 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a}, \quad [\text{N/m}]$$

iar valoarea maximă a forţei de atracţie:

$$f_a(165°) = +0{,}058 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} =$$

$$= +0{,}116 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a}. \quad [\text{N/m}]$$

În concluzie, sensul forţei f_a nu rămîne acelaşi în timp, între conductorul a şi celelalte două conductoare b şi c se va exercita, în principal, o forţă de respingere al cărei maxim este de aproximativ 14 ori mai mare decît maximul forţei de atracţie (fig. 2.27).

Concluziile deduse privitor la solicitarea conductorului a sînt valabile şi pentru conductorul c, care are o poziţie similară în spaţiu ca şi a conductorului a.

În mod analog se determină forţa rezultantă ce acţionează asupra conductorului din mijloc, luînd în mod convenţional direcţia unei forţe ca pozitivă (de exemplu, direcţia forţei dintre fazele b şi c). Asupra conductorului b străbătut de curentul i_b acţionează forţele f_{ba} şi f_{bc}, produse de acţiunea reciprocă dintre curenţii i_b şi i_a, respectiv i_b şi i_c (figura 2.26,b):

$$f_{ba} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_b i_a}{a} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{1}{a} I_m^2 \sin \omega t \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

şi

$$f_{bc} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_b i_c}{a} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{1}{a} I_m^2 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right).$$

Forţa rezultantă ce acţionează asupra conductorului b este:

$$f_b = f_{ba} - f_{bc} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_b}{a} (i_a - i_c) = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \varphi_b(\omega t), \quad (2-47)$$

în care s-a notat:

$$\varphi_b(\omega t) = \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\left[\sin \omega t - \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)\right]. \quad (2-48)$$

Funcţia $\varphi_b(\omega t)$ se poate transforma astfel:

$$\varphi_b(\omega t) = -\sqrt{3} \sin(\omega t - 120°) \cos(\omega t + 60°).$$

Deci forţa f_b variază în timp conform expresiei:

$$f_b = -2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \sqrt{3} \sin(\omega t - 120°) \cos(\omega t + 60°).$$

Valoarea maximă a forței f_b se obține prin anularea derivatei:

$$\frac{df_b}{dt} = -2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \sqrt{3}\omega \cos(2\omega t - 60°) = 0,$$

adică pentru $\omega t = (2k + 1)\frac{\pi}{4} + 30°$.

În acest caz, valoarea maximă a forței de atracție ($\omega t = 75°$) este egală cu valoarea maximă a forței de respingere ($\omega t = 165°$):

$$f_b(75°) = -0{,}866 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} = -1{,}732 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a}; \quad (2-49)$$

$$f_b(165°) = +0{,}866 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} = +1{,}732 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a}. \quad (2-50)$$

În concluzie, forța care se exercită asupra conductorului b este în opoziție cu forțele care se exercită asupra conductoarelor a și c. Valoarea maximă a forței care acționează asupra conductorului b este mai mare decît valoarea maximă a forței ce se exercită asupra conductoarelor a și c.

În tabelul 2.4 sînt trecute valorile numerice ale funcțiilor φ_a, φ_b și $\varphi_c(\omega t)$ cu ajutorul cărora s-au trasat funcțiile f_a, f_b și $f_c(t)$ din figura 2.27.

Tabelul 2.4

Valorile numerice ale funcțiilor φ_a, φ_b și $\varphi_c(\omega t)$

ωt	Conductorul a	Conductorul b	Conductorul c
0	0	0,750	−0,750
30	−0,375	0	−0,375
60	−0,750	0,750	0
75	−0,808	−0,866	0,058
120	−0,375	0	−0,375
150	0	0,750	−0,750
165	0,058	0,866	−0,808
180	0	0,750	−0,750
210	0,375	0	−0,375
240	0,750	0,750	0
255	−0,808	0,866	0,058
270	−0,750	0,750	0
300	−0,375	0	−0,375
330	0	0,750	−0,750
345	0,058	0,866	−0,808

Curbele f_a, f_b și f_c sînt sinusoide de frecvență dublă față de frecvența curentului.

Rezultă că faza din mijloc este cea mai solicitată din punct de vedere al forțelor electrodinamice, de aceea verificarea rezistenței mecanice a unui sistem trifazat se face pentru această fază.

În continuare, se va considera cazul în care cele trei conductoare a, b și c sînt dispuse în vîrfurile unui triunghi echilateral și se va calcula

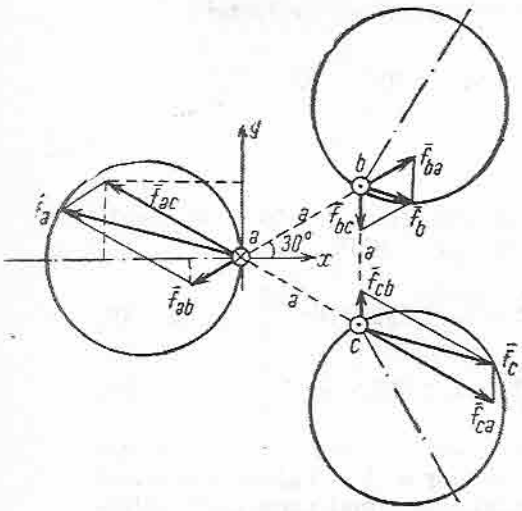


Fig. 2.28

expresia forței care se exercită asupra conductorului a din figura 2.28.

$$\bar{f}_a(t) = \bar{f}_{ab}(t) + \bar{f}_{ac}(t).$$

Proiectînd vectorul $\bar{f}_a(t)$ pe direcțiile x și y se obțin componentele:

$$f_{ax}(t) = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \frac{\sqrt{3}}{4} (1 - \cos 2\omega t);$$

$$f_{ay}(t) = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t.$$

Forța rezultantă va fi

$$f_a(t) = \sqrt{f_{ax}^2(t) + f_{ay}^2(t)};$$

$$f_a(t) = \pm 2 \cdot 10^{-7} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_m^2}{a} \sin \omega t.$$

Locul geometric al vîrfului vectorului forței f_a cu punctul de aplicație în conductorul a este un cerc cu diametrul egal cu valoarea maximă a forței $\left(f_{a\,max} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_m^2}{a} \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ și cu centrul pe axa x (figura 2.28).

Forța care se exercită asupra conductorului b sau c are aceeași lege de variație ca și forța care se exercită asupra conductorului a, iar valorile maxime ale forțelor sînt egale cu valoarea maximă a forței ce se exercită asupra conductorului central în cazul așezării coplanare a celor trei conductoare. Asupra celor trei conductoare așezate în vîrfurile unui triunghi echilateral se exercită în permanență forțe de respingere variabile în timp ca mărime și direcție.

Pînă acum s-a studiat sistemul trifazat de conductoare străbătute de componentele periodice neamortizate ale curenților de scurtcircuit trifazat. În realitate, în momentul inițial al scurtcircuitului intervine curentul total de scurtcircuit, egal cu suma componentelor periodică și aperiodică.

Interes practic prezintă valoarea maximă a forței electrodinamice, care apare în prima semiperioadă de la începutul scurtcircuitului, cînd amplitudinea curentului total de scurtcircuit are valoarea maximă și este egală cu:

$$i_{șoc} = k_{șoc} I_m,$$

unde: I_m este amplitudinea componentei periodice a curentului de scurtcircuit;

$i_{șoc}$ — curentul de scurtcircuit de șoc;

$k_{șoc}$ — coeficientul de șoc.

În figura 2.29 sînt arătate forțele care acționează asupra conductorului din mijloc în timpul primei semiperioade a curentului de scurtcircuit la

diverse amortizări α_i ale componentei sale aperiodice.

Forța maximă care acționează asupra conductorului din mijloc, ținînd seama de componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit trifazat, este conform formulei (2—50):

$$f_{b\,max} = 2 \cdot 0{,}866 \frac{i_{soc}^2}{a} \cdot 10^{-7}. \quad [\mathrm{N/m}]$$

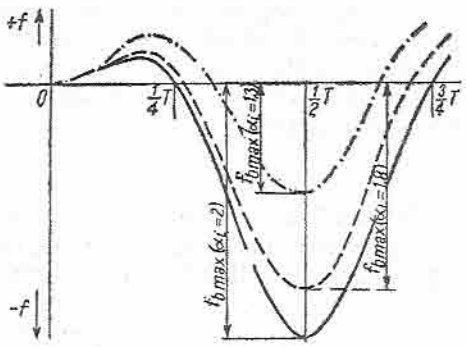


Fig. 2.29

În caz de scurtcircuit bifazat, curentul pe faza sănătoasă este practic zero, iar curenții pe fazele defecte sînt egali și de sens contrar. Trebuie să se examineze deci dacă conductorul din mijloc este mai solicitat la scurtcircuite trifazate decît la scurtcircuite bifazate.

Este cunoscut că între valorile de șoc ale curenților de scurtcircuit trifazat (3) și bifazat (2) există relația:

$$i_{soc}^{(2)} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} i_{soc}^{(3)}. \qquad (2—51)$$

Rezultă că forța maximă între două conductoare alăturate, în cazul scurtcircuitului bifazat, este egală cu:

$$f_{max}^{(2)} = 2 \frac{\left(i_{soc}^{(2)}\right)^2}{a} 10^{-7} \quad [\mathrm{N/m}]$$

sau înlocuind pe i_{soc}^2 cu expresia (2—51) se obține:

$$f_{max}^{(2)} = 2 \frac{3}{4} \frac{\left(i_{soc}^{(3)}\right)^2}{a} 10^{-7} = 2 \cdot 0{,}75 \frac{\left(i_{soc}^{(3)}\right)^2}{a} 10^{-7}. \qquad (2—52)$$

Se observă că forța maximă, în cazul scurtcircuitului bifazat, este mai mică decît în cazul scurtcircuitului trifazat:

$$\frac{f_{b\,max}^{(2)}}{f_{b\,max}^{(3)}} = \frac{0{,}75}{0{,}866}.$$

Pe baza acestui studiu, rezultă că la calculul mecanic al sistemului trifazat de conductoare așezate în același plan orizontal trebuie să se verifice din punct de vedere al solicitărilor electrodinamice conductorul din mijloc, în cazul scurtcircuitelor trifazate.

2.2.4. Stabilitatea electrodinamică a aparatelor electrice

Stabilitatea electrodinamică a aparatelor electrice caracterizează capacitatea lor de a rezista la acțiunile mecanice ale curenților de scurtcircuit și este determinată de stabilitatea elementului celui mai slab.

Pentru funcționarea sigură a oricărui aparat este necesar ca intensitatea curentului de stabilitate electrodinamică i_{max} să nu fie în nici un caz depășită, adică valoarea maximă calculată a amplitudinii curentului de șoc la scurtcircuit trifazat să fie mai mică decît curentul de stabilitate electrodinamică:

$$i_{șoc} \leqslant i_{max}.$$

În cazul cînd în locul curentului de stabilitate electrodinamică este dat în cataloage coeficientul de stabilitate electrodinamică K_{din}, verificarea aparatului la solicitările electrodinamice se face cu relația:

$$i_{șoc} \leqslant \sqrt{2} I_{1n} K_{din}.$$

Trebuie acordată o atenție foarte mare stabilității electrodinamice a aparatelor și a diferitelor elemente din centrale și stații, deoarece lipsa de stabilitate electrodinamică poate provoca distrugeri mari și scoaterea instalației din funcțiune pentru un timp îndelungat.

2.3. Arcul electric în aparate

2.3.1. Considerații generale

În electrotehnică arcul electric se studiază sub două aspecte și anume:

a. folosirea arcului electric în industrie pentru topirea metalelor, sudură, tăierea și prelucrarea metalelor etc. Folosirea arcului electric în aceste domenii se bazează pe funcționarea lui stabilă sau pe apariția lui intermitentă și caracterizează o grupă de probleme legate de aceste procese;

b. grupa a doua de probleme este determinată de funcționarea nestabilă a arcului electric și de procesele de stingere a lui în aparatele de comutație.

Întreruperea unui circuit electric este întotdeauna însoțită de un arc electric între contactele aparatului de comutație. Acest arc se numește de deschidere. Dacă acest proces (de apariție a arcului) n-ar exista, ar apărea mari greutăți în folosirea instalațiilor electrice, deoarece toată energia acumulată în cîmpul magnetic al sistemului, s-ar transforma, la întreruperea circuitului, în energie a cîmpului electric, ceea ce ar duce la supratensiuni periculoase pentru instalațiile energetice. Prezența arcului electric permite să se întrerupă un circuit de curent continuu, fie cu supratensiuni mici nepericuloase, fie fără supratensiuni. Energia cîmpului magnetic al sistemului se transformă în arcul electric în energie calorică.

Actualmente, în sistemele energetice puternice apar curenți mari de scurtcircuit pe care aparatele de comutație trebuie să-i întrerupă. În acest caz, energia consumată de arc este determinată de puterea centralei electrice. Această energie trebuie disipată, iar arcul electric localizat, limitat în spații mici, ceea ce se realizează cu aparatele de comutație.

De asemenea, și la închiderea circuitelor electrice apare un arc între contactele aparatului de comutație, dar efectul termic al acestui arc este mic datorită vitezei mari de închidere a contactelor.

Arcul electric poate fi considerat ca un conductor mobil care se deplasează cu viteză mare sub acțiunea curenților de aer și a cîmpului electric și magnetic. În deplasarea sa, dacă sare pe două conductoare cu diferență de potențial între ele produce un scurtcircuit. Arcul electric are o temperatură înaltă atît în coloana lui cît și în punctele sale de sprijin (picioarele arcului), așa încît el produce o solicitare suplimentară față de solicitările termice la care este supus în mod normal aparatul și corodează contactele pe care se sprijină. Arcul electric fiind deci distrugător, trebuie limitat ca spațiu și timp.

Picioarele arcului se sprijină pe două pete: una *catodică*, pe contactul negativ și una *anodică*, pe contactul pozitiv. Dimensiunile petelor sînt foarte mici, însă densitatea curentului în locul petei este foarte mare: cîteva mii de amperi pe centimetru pătrat. Densitatea mare de curent duce la crearea în arc a unei temperaturi mari. Temperatura maximă se formează pe pata catodică, ea constituind, din această cauză, o sursă de emisie a fluxului de electroni, fenomen ce se numește emisie termoelectrică a catodului.

Studiul arcului electric, cunoașterea proprietăților sale, precum și a metodelor de stingere a lui, au o mare importanță pentru proiectarea, construirea și exploatarea rațională a aparatelor de comutație, întrucît întreruperea unui circuit electric constă de fapt în a stinge arcul electric într-un timp scurt, înainte ca el să devină periculos atît pentru obiectele alăturade cît și pentru stabilitatea sistemului.

Fenomenele tranzitorii care apar la deconectarea circuitelor electrice de înaltă tensiune constituie unele dintre cele mai complexe fenomene din electrotehnică. Studiul lor este dificil datorită influențelor reciproce între funcționarea aparatelor de înaltă tensiune care produc aceste fenomene și însăși desfășurarea acestor fenomene. De asemenea, o serie de proprietăți bine determinate se pot manifesta în mod diferit în funcție de condițiile locale.

Astfel, de exemplu, reamorsarea unui arc între contactele unui întreruptor care se deschide, poate avea ca efect limitarea supratensiunii în cazul unui curent inductiv de slabă intensitate, pe cînd aceeași reamorsare poate să producă din contră o supratensiune relativ mare în cazul unui curent capacitiv corespunzător unei linii în gol.

Constructorul trebuie să țină seama de ansamblul acestor fenomene diferite, pentru a putea să execute un aparat de comutație care să satisfacă în mod ponderat toate condițiile impuse și care să corespundă cît mai bine nevoilor exploatării.

În acest scop, este necesar să se cunoască cît mai exact procesele legate de formarea arcului electric, natura lui, factorii care influențează dezvoltarea și menținerea lui.

Cercetările au arătat că arcul electric de deschidere se produce în modul următor: la desfacerea contactelor *1* și *2*, forța de strîngere se micșorează repede în funcție de timp, suprafața reală de atingere se micșorează și rezistența de contact crește. Căldura corespunzătoare RI^2t se concentrează într-un volum foarte mic de metal format din conurile vîrfurilor *A*, *B* și *C* care se ating (figura 2.30).

Aceste vîrfuri, în numărul relativ mic, se încălzesc pînă la temperaturi foarte înalte și pînă la urmă se volatilizează sub formă de explozie, formînd

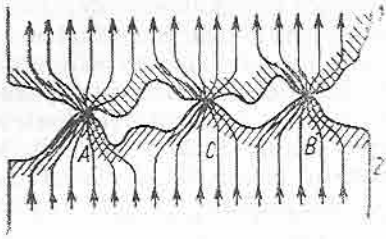


Fig. 2.30

astfel o plasmă de mare conductivitate. Arcul se consideră că s-a format imediat după explozia punților de contact, între rămășițele lor. Astfel, se vede că la dispariția atingerii ultimelor suprafețe elementare ale contactelor, vîrfurile conurilor sînt deja încălzite pînă la temperatura la care încep emisiunile termoelectronice, deci începutul arcului. Particularitatea caracteristică a arcului de deschidere este că el se formează la o tensiune de aprindere mică.

Formarea arcului electric la închiderea contactelor se datorește, în principal, curentului capacitiv, cele două contacte formînd armăturile unui condensator. Acest proces începe cînd gradientul tensiunii între contacte ajunge la 10^7 V/cm, valoare la care începe autoemisia de electroni.

Arcul electric este un flux de electroni și de ioni, care are în zona sa centrală o temperatură foarte ridicată. Fluxul de electroni și ioni constituie miezul arcului, zona sa axială, a cărui secțiune are o valoare anumită pentru o presiune dată a mediului înconjurător și este proporțională cu intensitatea curentului din arc. Această parte a arcului electric, de o luminozitate intensă, este de fapt coloana lui, care are conductivitatea electrică cea mai mare și prin care trece aproape tot curentul. Acest miez este înconjurat de un strat mai gros, dar mai puțin luminos, denumit aureolă, a cărui natură diferă datorită temperaturii mari, de mediul inițial în care s-a produs arcul. Aureola prezintă un gaz destul de încălzit și luminos, dar temperatura lui fiind relativ mică, conductivitatea lui electrică este mică.

2.3.2. Proprietățile arcului electric

Arcul electric de deschidere este o descărcare electrică autonomă în gaze caracterizată prin: densitate mare de curent (10^3—10^8 A/cm^2), temperatură înaltă (5000—6000 °C), presiune mare a gazului (atmosferică sau mai mare) și cădere mică de tensiune (un gradient mic al tensiunii în coloana arcului 10...20 V/cm).

Caracteristica principală a descărcării în gaze este proprietatea spațiului de gaz, în general izolant, de a deveni conductor electric. Conductivitatea de gaz este determinată de densitatea purtătorilor de sarcină liberi și de viteza lor de deplasare spre cei doi electrozi și variază cu densitatea, temperatura, natura mediului și intensitatea cîmpului electric.

Dependența dintre tensiune și curent pentru diferite descărcări în gaze este arătată în figura 2.31. Pe această curbă, arcul electric ocupă locul din extrema dreaptă, caracterizat printr-o mică cădere de tensiune catodică (10—20 V) și o densitate mare de curent (10...10^5 A/cm^2).

Din figura 2.32, care reprezintă căderea de tensiune U și gradientul în arc E, se vede că lîngă catod are loc o variație bruscă a tensiunii denumită *cădere de tensiune catodică* și un gradient mare al tensiunii. În lungul coloanei arcului tensiunea crește uniform avînd în această porțiune un gradient

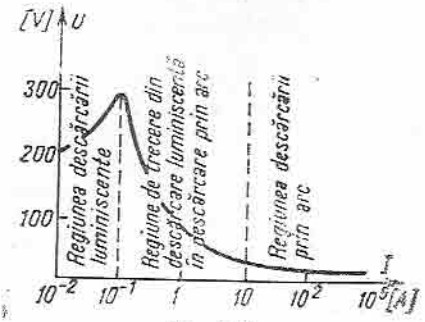


Fig. 2.31

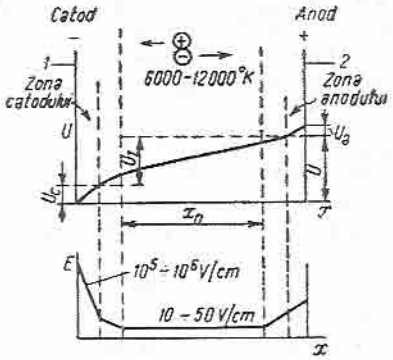


Fig. 2.32

al tensiunii constant. Lîngă anod are loc, de asemenea, o variaţie bruscă de tensiune, denumită *cădere de tensiune anodică*.

Căderea de tensiune catodică U_c, pentru acelaşi mediu şi acelaşi material al electrozilor, este o mărime aproape constantă şi este cuprinsă între 10—20 V.

Căderea de tensiune anodică U_a este, în general, variabilă şi depinde în primul rînd de curent. De obicei, ea este mai mică decît cea catodică, iar în cazul curenţilor mari se apropie de zero. De aceea, în cazurile practice, în circuite cu curenţi mari, această cădere de tensiune poate fi neglijată.

Căderile de tensiune de lîngă electrozi sînt concentrate pe porţiuni foarte mici din lungimea arcului (10^{-4} cm). În acest caz, se poate exprima astfel tensiunea arcului (cădere de tensiune în arc):

$$U = U_c + U_l + U_a.$$

Pentru contacte din acelaşi material, pentru acelaşi mediu, aceeaşi presiune şi temperatură, căderea de tensiune pe coloana arcului U_l est independentă de curentul din arc. Adică arcul se poate considera ca un conductor a cărui secţiune se ajustează automat la curentul care trece prin el.

Arcul electric, care este un flux de particule încărcate cu sarcini electrice, se formează, se dezvoltă şi se menţine datorită proceselor de ionizare şi anume: ionizare prin ciocnire, ionizare prin emisie autoelectronică sau termoelectronică şi ionizare termică.

Procesul de ionizare în coloana arcului se datoreşte în cea mai mare parte temperaturii înalte a gazului, ionizarea termică fiind, în acest caz, fundamentală şi practic singura care contribuie la dezvoltarea şi menţinerea arcului electric.

Coloana arcului are cantităţi egale de sarcini libere, stare a materiei care se numeşte *plasmă* şi care se caracterizează printr-un grad înalt de ionizare a gazului. Această plasmă avînd, ca şi metalul, o cantitate egală de sarcini libere, are aproape aceeaşi conductivitate electrică mare ca şi metalul. La deschiderea contactelor, plasma închide automat circuitul electric care trebuie deschis. Desciderea circuitului este posibilă, din această cauză, numai prin stingerea arcului.

Partea centrală a arcului are o temperatură foarte înaltă de 5000—10000 °K şi în unele cazuri ajunge la 50000 °K. Această temperatură

depinde de intensitatea curentului, de natura mediului ambiant şi de presiunea acestuia. Prin această parte centrală trece cea mai mare parte a fluxului de electroni. La trecerea curentului prin zero (în cazul curentului alternativ) temperatura scade pînă la 1000—2000 °K.

La temperaturile foarte înalte din coloana arcului, atomii şi moleculele gazului capătă viteze mari, respectiv energii cinetice mari. La ciocnire apar particule încărcate cu electricitate de semn contrar, electroni şi ioni. Ionizarea termică a gazelor are loc la temperaturi de la 8000 °K, iar a vaporilor de metal la 4000 °K. În arcul electric care se formează la întreruperea unui circuit există întotdeauna vapori metalici, deci pentru ca să se producă ionizarea este nevoie ca temperatura să aibă valoarea de peste 4000...5000 °K, ceea ce şi are loc în arcul electric.

Ionizarea termică se caracterizează prin *gradul de ionizare* care se defineşte ca raportul dintre numărul de atomi ionizaţi în unitatea de volum N şi numărul total de atomi N_1 în unitatea de volum adică:

$$\varkappa = \frac{N}{N_1}.$$

În figura 2.33 este dată dependenţa $\varkappa = f(T)$ a unui gaz cu o energie de ionizare $W_i = 15$ eV şi pentru vapori de metal cu o energie de ionizare $W_i = 7{,}5$ eV la o presiune de 1 at.

În figura 2.34 este dată dependenţa gradului de ionizare $\varkappa$ de temperatură şi presiune $\varkappa = f(T, p)$ pentru aer.

Dintre toate tipurile de ionizare posibile, ionizarea termică este aceea care menţine arcul. De aici rezultă că măsura cea mai potrivită pentru stingerea arcului electric este îndepărtarea căldurii din spaţiul de arc, deci scăderea temperaturii.

Scăderea temperaturii gazului din coloana arcului nu numai că înlătură sursa de ioni şi electroni, dar contribuie foarte mult la recombinarea particulelor pozitive şi negative, obţinîndu-se procesul care se numeşte *deionizare*. Procesul de deionizare în spaţiul de arc are loc simultan cu procesul de ionizare.

Procesul de deionizare se realizează prin:

a. recombinarea particulelor încărcate;

b. difuzia ionilor în afara spaţiului de arc.

Fenomenul de recombinare constă în aceea că două particule încărcate cu sarcini pozitive şi negative vin în atingere neutralizîndu-şi sarcinile electrice şi formînd o particulă neutră.

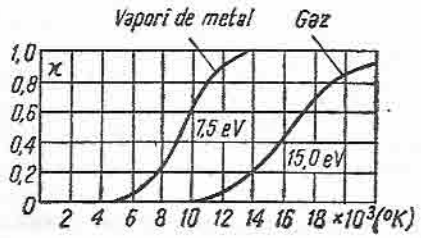


Fig. 2.33

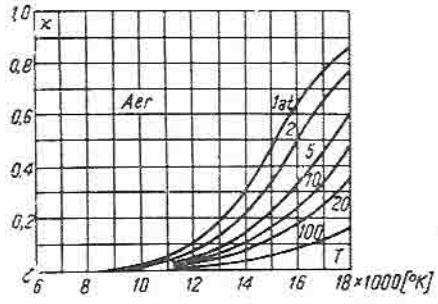


Fig. 2.34

Într-un anumit volum de gaz ionizat, în procesul recombinării iau parte întotdeauna perechi de particule încărcate, de unde rezultă că numărul de recombinări în unitatea de timp, adică viteza de dispariție a sarcinilor electrice de ambele semne, va fi proporțională atît cu densitatea unora din particule cît și cu a celorlalte.

Deci: $$\frac{dn_e}{dt} = \frac{dn_i}{dt} = -\alpha n_e n_i,$$

unde n_e și n_i este respectiv numărul electronilor și ionilor în unitatea de volum și unitatea de timp, iar α este coeficientul de recombinare. Întrucît $n_e = n_i = n$ se poate scrie:

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2.$$

Coeficientul de recombinare are diferite valori pentru diferite gaze, astfel pentru aer $\alpha = 1{,}71 \cdot 10^{-6}$, pentru hidrogen $\alpha = 1{,}44 \cdot 10^{-6}$ etc.

Intensitatea de recombinare depinde de:

— gradientul cîmpului electric; cu cît gradientul este mai mic, cu atît viteza de mișcare a particulelor încărcate este mai mică și cu atît este mai mare posibilitatea de recombinare a lor;

— de natura gazului;

— de temperatura gazului în spațiul de arc; cu cît temperatura este mai mică cu atît intensitatea recombinării este mai mare;

— de presiunea gazului în spațiul de arc, care favorizează recombinarea;

— de secțiunea arcului; la secțiuni mici ale arcului recombinarea este mai intensă.

Difuzia ionilor este al doilea proces de deionizare a arcului și constă în deplasarea particulelor încărcate din zona arcului, cu concentrație mare de sarcini electrice, în mediul înconjurător cu concentrație mai mică de sarcini. În gaze nu poate persista mult timp o modificare locală a stării lui, de exemplu, nu pot persista mult timp creșteri locale de presiuni sau temperaturi. Datorită mișcării termice continue, orice modificare locală se nivelează repede. Acest proces de nivelare se numește difuzie. Astfel într-un gaz ionizat orice acumulare de ioni sau electroni, determinată de o cauză oarecare, se va împrăștia imediat după apariție, datorită mișcării termice în întregul volum ocupat de gaz. De aici rezultă că în cazul repartiției neuniforme a densității sarcinilor pe secțiunea transversală a arcului apare un cîmp electric, care forțează ionii să se miște perpendicular față de axa arcului, părăsind chiar zona acestuia datorită diferenței mari de temperatură care există între spațiul de arc și mediul ambiant. Ionii care difuzează în mediul ambiant își pierd sarcinile prin recombinare cu ionii negativi care se găsesc în mediul înconjurător.

Difuzia produce deci o micșorare a numărului de ioni din arc micșorînd conductivitatea arcului, deci are loc un proces de deionizare.

Pentru ca ionii care difuzează în mediul înconjurător să nu formeze în jurul arcului zone cu sarcini spațiale pozitive care ar împiedica mai departe difuzia ionilor pozitivi din arc, este necesar ca recombinarea ionilor în mediul înconjurător să se facă intens. Intensificarea recombinărilor în mediul înconjurător se obține prin suflarea arcului cu ajutorul unui gaz și neionizat.

Acest suflaj, mărind diferența de temperatură dintre arc și mediul înconjurător, contribuie direct la intensificarea difuziei. Același rezultat se obține și prin deplasarea arcului în mediul ambiant.

Orice ion care a difuzat atrage după sine și un electron pentru că în arc se observă un echilibru permanent dintre ioni și electroni. Dacă s-ar admite că acest echilibru nu există ar trebui să existe în coloana arcului sarcini spațiale, lucru care nu este confirmat de realitate, deci are loc o difuzie bipolară.

În figura 2.35 este prezentată caracteristica voltamperică a arcului, care poate fi *statică* dacă curentul din arc variază atît de încet, încît pentru fiecare valoare a curentului corespunde o stare *stabilă*, atît a parametrilor fizici, cît și a parametrilor geometrici ai arcului.

Forma curbei se explică prin faptul că la creșterea curentului crește și temperatura și se intensifică procesele de ionizare termică. Aceasta duce la o creștere bruscă a densității de electroni din canal și a conductivității gazului și deci, la o reducere a tensiunii arcului.

Dependența dintre gradientul tensiunii arcului și curent se exprimă prin relația $E = CI^{-n}$.

Exponentul n are valori între 0,5—0,25, valoarea 0,5 corespunzînd la curenți foarte mici pînă la 10 A. În zona curenților mari, n are valori între 0,35—0,25.

Cînd curentul de arc variază repede în timp, datorită inerției termice, conductivitatea și tensiunea arcului vor fi determinate de valorile precedente ale curentului. De aceea, în cazul măririi curentului, tensiunea va fi superioară celei de la starea stabilă, iar în cazul descreșterii — mai mică.

În figura 2.36 este arătată o familie de caracteristici voltamperice pentru aceeași distanță între electrozi și pentru diferite viteze de variație a curentului din arc. Această dependență a tensiunii arcului de curent se numește caracteristica voltamperică *dinamică*. Caracteristica dinamică se schimbă în funcție de viteza de variație a curentului. Cu cît se micșorează mai repede curentul, cu atît este mai jos caracteristica. Curba de sus corespunde unei viteze foarte mici de variație a curentului din circuit, deci se apropie sau este chiar caracteristica statică, iar curba de jos OA, care practic nu se poate atinge, corespunde unei viteze infinit de mari de micșorare a curentului, cînd rezistența coloanei arcului rămîne constantă.

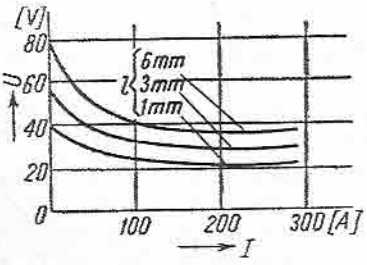


Fig. 2.35

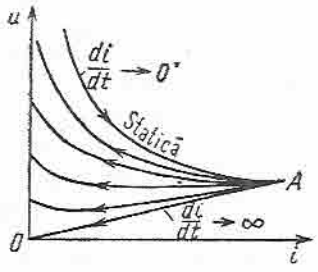


Fig. 2.36

2.3.3. Stingerea arcului de curent continuu

Tensiunea de aprindere U_a a arcului electric depinde de distanța între contactele arcului, de temperatura și presiunea mediului ambiant, de temperatura și materialul contactelor etc. Dacă viteza de variație a curentului nu este mare, caracteristica voltamperică este dată de curba $a—b$, adică de caracteristica statică a arcului (figura 2.37). Dacă de la punctul b curentul arcului se micșorează cu viteză mare se obține caracteristica dinamică $b—c$ a arcului. Tensiunea U_s corespunzătoare curentului zero, este tensiunea de stingere a arcului și este întotdeauna mai mică decît tensiunea de aprindere U_a.

Se consideră un circuit simplu de curent continuu, format dintr-o sursă de curent cu tensiunea U_g, rezistența R, inductanța L și un întreruptor (figura 2.38, *a*). Deschiderea circuitului cu acest întreruptor este însoțită de formarea unui arc între contactele lui. Pentru acest circuit se poate scrie în regim tranzitoriu relația:

$$U_g = Ri + L\frac{di}{dt} + U_a, \tag{2—53}$$

de unde:

$$L\frac{di}{dt} = U_g - (Ri + U_a) = \Delta U. \tag{2—54}$$

ΔU este tensiunea de reducere, deoarece, pentru o inductanță L dată, definește viteza de reducere $\frac{di}{dt}$ a curentului. Condiția necesară și suficientă pentru stingerea arcului este:

$$U_a > U_g - Ri, \tag{2—55}$$

adică:

$$\frac{di}{dt} < 0. \tag{2—56}$$

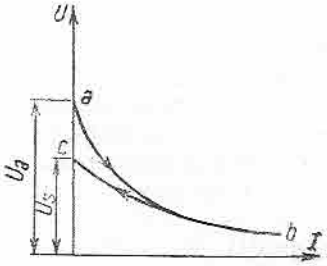
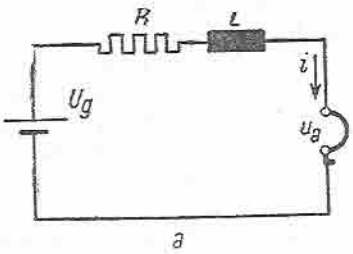


Fig. 2.37



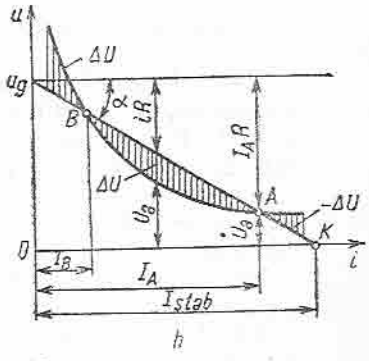


Fig. 2.38

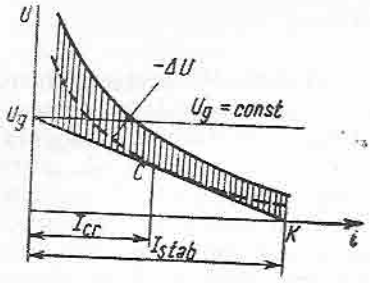


Fig. 2.39

Cînd arcul arde stabil, $L\frac{di}{dt} = 0$ şi deci:

$$U_g = U_a + Ri. \qquad (2-57)$$

Punctele A şi B din figura 2.38, *b* sînt puncte de ardere stabilă ale arcului, întrucît este respectată relaţia (2—57).

Pentru curenţii din arc diferiţi de I_A şi I_B în circuit se induc tensiuni electromotoare ale căror valori sînt exprimate prin segmentele $\Delta U = L\frac{di}{dt}$. Între punctele A şi B există următoarea deosebire. Dacă curentul în arc va fi mai mare decît I_A, atunci tensiunea electromotoare indusă în circuit va avea semnul minus (vezi relaţia 2—54), întrucît suma $U_a + Ri$ este mai mare decît U_g, iar ca rezultat curentul în arc se va micşora pînă la valoarea stabilă I_A. Micşorarea curentului faţă de valoarea I_A induce o tensiune electromotoare în circuit de valoare pozitivă, iar ca rezultat curentul în arc se măreşte şi din nou se apropie de valoarea sa stabilă I_A. Astfel punctul A al caracteristicii este punctul de ardere stabilă de lungă durată a arcului.

Punctul B al caracteristicii este punctul de ardere a arcului numai *aparent stabilă*. Mărirea curentului în arc în comparaţie cu curentul I_B induce o tensiune electromotoare în circuit de valoare pozitivă şi deci curentul se măreşte mai departe pînă la valoarea I_A. Invers, micşorarea curentului în compraţie cu I_B induce o tensiune electromotoare în circuit de valoare negativă şi deci curentul se micşorează mai departe şi arcul se stinge.

Pentru stingerea arcului este necesar să se obţine astfel de condiţii, încît valoarea ΔU să aibă tot timpul valori negative. Această condiţie se respectă cînd caracteristica voltamperică a arcului, pentru toate valorile curentului, este deasupra dreptei CK (figura 2.39).

Pentru stingerea arcului electric în curent continuu este necesar deci, fie să se mărească unghiul α, deci mărirea rezistenţei R, fie să se mărească tensiunea arcului U_a, fie ambele măsuri simultan.

Deci, principiul care stă la baza întreruptoarelor de curent continuu este de a se întinde arcul electric şi de a se introduce rezistenţe în circuitul lui.

2.3.4. Stingerea arcului electric de curent alternativ

Evoluţia arcului electric alternativ depinde de acţiunea mediului ambiant asupra sa. Cînd acţiunea mediului este slabă, ca de exemplu arderea arcului electric în atmosferă liniştită de aer, inerţia termică a coloanei arcului este aşa de mare, încît temperatura lui se modifică puţin în timpul unei semiperioade a curentului alternativ, iar curentul îşi schimbă sensul său aproape în acelaşi mod ca la trecerea sa printr-un conductor metalic. În acest caz, trecerea curentului prin zero nu creează nici o proprietate nouă coloanei arcului. Un astfel de arc electric se numeşte arc *liber* sau arc *deschis*.

Altfel se comportă arcul de curent alternativ în condiţii de deionizare intensă, sub acţiunea intensă a mediului înconjurător. În acest caz, dia-

metrul coloanei arcului urmăreşte aproape sincron variaţia curentului. La apropierea curentului de zero, coloana arcului se prezintă ca un fir subţire, care poate să se distrugă într-un interval de timp scurt (cîteva zeci de microsecunde.) În aceste condiţii, fenomenele se petrec astfel, ca şi cum la fiecare semiperioadă arcul s-ar stinge şi s-ar aprinde, iar stingerea definitivă depinde de raportul dintre viteza de restabilire a rigidităţii dielectrice a coloanei arcului şi viteza de creştere a tensiunii de restabilire pe contacte după trecerea curentului prin zero.

Parametrul care determină stingerea arcului liber este lungimea lui; arcul se stinge cînd lungimea lui atinge valoarea numită *lungime critică*. Factorii care influenţează evoluţia arcului ca: vîntul, posibilitatea deplasării punctelor de sprijin ale arcului, poziţia conductoarelor se iau în considerare numai în unele cazuri. Dintre acestea cele mai importante sînt posibilitatea deplasării punctelor de sprijin ale arcului în lungul conductoarelor şi poziţia conductoarelor.

Valoarea curentului din arc are o influenţă importantă asupra comportării arcului liber. Cînd curentul se măreşte, cresc forţele electrodinamice care produc atît deplasarea generală a arcului, cît şi deformaţiile locale. Vitezele de deplasare ale arcului sub influenţa forţelor electrodinamice pot să atingă zeci de metri pe secundă, iar în cazuri anumite, la curenţi foarte mari, pot să întreacă 100 m/s. Prin aceasta se explică faptul că timpul de deionizare a arcului poate fi mai mic pentru valori mai mari ale curentului.

O deionizare intensă a spaţiului arcului se realizează prin suflarea lui cu un gaz sau lichid, prin aducerea lui în contact intim cu pereţii izolanţi, prin împărţirea lungimii arcului într-o serie de arcuri scurte etc. Tensiunea arcului poate reprezenta o valoare neglijabilă în raport cu tensiunea reţelei, în timp ce vîrful tensiunilor de aprindere a arcului poate să atingă valori importante. În comparaţie cu arcul liber, caracteristica voltamperică dinamică a arcului electric care se găseşte în condiţii de intensă deionizare suferă modificări.

Procesul de stingere a arcului electric de curent alternativ se produce în felul următor: dacă rigiditatea dielectrică a spaţiului arcului, după ce curentul ajunge la valoarea zero, rămîne tot timpul mai mare decît tensiunea reţelei care se restabileşte, arcul se stinge definitiv şi invers. Exprimarea grafică a acestei situaţii este arătată în figura 2.40, în care s-au notat cu *a*-curba de restabilire a tensiunii aplicată spaţiului de arc după trecerea curentului prin zero, cu *b* şi *c*-două curbe de restabilire a rigidităţii dielectrice a spaţiului. Curba *b* corespunde reaprinderii arcului electric, în timp ce curba *c* corespunde stingerii arcului.

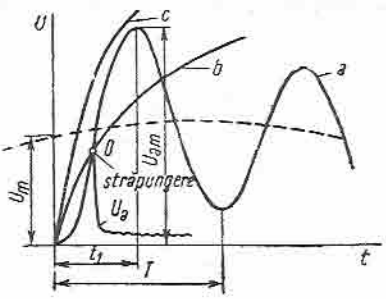


Fig. 2.40

Coloana arcului, după trecerea curentului prin zero păstrează încă o conductivitate apreciabilă, care scade rapid cu timpul, în cazul stingerii arcului sau creşte dacă arcul se aprinde. De aceea, stingerea definitivă sau reaprinderea arcului, în condiţiile unei deionizări intense a coloanei arcului, este determinată de evoluţia aces-

tor două procese rapide — modificarea conductivității spațiului arcului și a tensiunii care se restabilește pe bornele lui.

Formarea rigidității dielectrice a spațiului de arc este un proces determinat în primul rînd de acțiunea dispozitivelor de stingere a arcului, de natura mediului în care s-a produs arcul etc.

Amplitudinea și viteza de restabilire a tensiunii aplicate spațiului de arc depind în primul rînd de constantele circuitului în care se formează arcul. Dar viteza de restabilire a tensiunii este influențată și de conductivitatea reziduală a spațiului arcului, de aceea, în unele cazuri, se conectează în mod special rezistențe care șuntează spațiul arcului și care contribuie la micșorarea vitezei de restabilire a tensiunii. Restabilirea rigidității dielectrice a spațiului de arc se realizează pe diferite căi în funcție de dispozitivul de stingere, de mediul de stingere, de modul de introducere a mediului de stingere etc.

Procesul de stingere a arcului are loc în mod diferit pentru arcurile scurte și pentru cele lungi.

Stingerea arcului scurt (circa 1 mm). După trecerea curentului prin zero arcul va reapărea în semiperioada următoare dacă tensiunea aplicată este suficientă pentru a asigura gradientul necesar lîngă noul catod, la schimbarea polarității.

Astfel, de exemplu, pentru electrozii din cupru rece, valoarea tensiunii de reaprindere a arcului este 250 V. Cu timpul, densitatea sarcinilor electrice se micșorează și valoarea tensiunii de străpungere se mărește. În figura 2.41 este arătată dependența tensiunii de străpungere în funcție de timpul aplicării sale din momentul trecerii curentului prin zero, pe două spații scurte cu diferite distanțe între electrozi ($s_1 < s_2$). Trebuie subliniat că, la început chiar, spațiile au o rigiditate inițială U_0 complet determinată. Rigiditatea spațiilor crește mai departe cu timpul, iar creșterea este mai pronunțată la spații mai scurte (s_1). Aceasta se explică prin faptul că la spații mai scurte, densitatea sarcinii spațiale pozitive se micșorează într-o măsură mai mare, datorită apropierii electrozilor, care contribuie la coborîrea temperaturii gazului și la recombinarea ionilor. Rigiditatea inițială U_0 depinde de starea electrozilor și de materialul lor.

O caracteristică a spațiului scurt este influența importantă pe care o are valoarea inițială a rigidității U_0 a spațiului asupra procesului de stingere a arcului. În cazul arcului lung, această rigiditate inițială a spațiului nu are influență asupra procesului de stingere a arcului.

Dacă amplitudinea tensiunii de restabilire întrece rigiditatea dielectrică a spațiului, atunci este necesar pentru stingerea arcului ca acesta să fie împărțit în mai multe spații, legate în serie. În cazul legării în serie a mai multor spații, rigiditatea unei astfel de coloane poate să nu fie egală cu suma rigidităților spațiale singulare. Valoarea tensiunii totale pentru reaprinderea arcului, într-un astfel de spațiu multiplu este influențată de repartiția neuniformă a tensiunii de restabilire pe fiecare spațiu separat. Gradul de neuniformitate a repartiției tensiunii este influențat de capacitățile diferitelor spații față de pămînt.

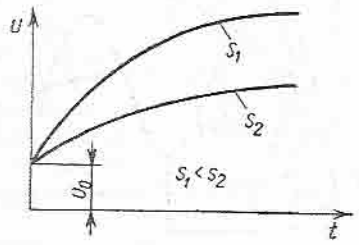


Fig. 2.41

Pentru mărirea rigidității unui astfel de dispozitiv este necesar să se uniformizeze repartiția tensiunii în lungul coloanei, ceea ce se obține prin șuntarea elementelor separate sau grupelor de elemente cu rezistențe sau capacități.

Dispozitivele de stingere cu spații scurte și-au găsit o aplicare destul de răspîndită la aparatele de joasă tensiune, întreruptoarele de înaltă tensiune, la descărcătoare etc.

Stingerea arcului lung. La arcurile electrice lungi, fenomenele de lîngă electrozi au o importanță secundară. Într-adevăr, dacă în acest caz arcul se stinge la o tensiune de cîteva mii volți, tensiunea de ordinul 250 V necesară pentru începerea descărcării lîngă suprafața catodului, nu are nici o importanță cantitativă. Procesul de restabilire a rigidității dielectrice în spațiul arcului lung se petrece cu totul altfel decît în cazul arcului scurt și anume prin deionizarea gazelor care alcătuiesc coloana lui și prin împrăștierea acesteia.

În cazul deionizării active, coloana arcului de curent alternativ este supusă acțiunii intense a mediului ambiant, în care disipă continuu puterea pe care o primește din rețea. Ca rezultat al acestor procese, gradul de ionizare al coloanei reziduale descrește.

Din acest punct de vedere, începutul stingerii arcului se consideră înainte de momentul trecerii curentului prin zero. La apropierea curentului de zero, bilanțul energetic al coloanei arcului devine negativ. Cînd curentul atinge valoarea zero se întrerupe complet primirea de putere în arc, dar disiparea se continuă cu intensitate mare.

Pentru stingerea arcului electric este necesar să se preia în special rezerva de energie aflată în coloana reziduală a arcului după trecerea curentului prin zero, întrucît temperatura înaltă a gazului este sursă de noi ioni și electroni atît timp cît aceasta nu scade sub nivelul ionizării termice. Se menționează că scăderea mai departe a temperaturii contribuie activ și la dispariția purtătorilor de sarcini rămași în coloana arcului, prin intensificarea recombinării lor.

Pentru examinarea fenomenului preluării căldurii din coloana arcului de către mediul ambiant se presupune că arcul este supus la un suflaj longitudinal (figura 2.42). Curentul de gaz al mediului ambiant atinge suprafața coloanei arcului și moleculele lui intră pînă la o adîncime oarecare, în zona temperaturilor înalte. Ajungînd în zona temperaturilor înalte, moleculele de gaz se disociază în atomi, proces care consumă din energia cinetică a gazului din spațiul de arc, deci se consumă căldură din arc.

Fig. 2.42

Atomii formați sînt mai mobili și difuzează ușor din coloana arcului în spațiul înconjurător. În zona temperaturilor joase (pe suprafața coloanei arcului și dincolo de limitele ei), atomii se unesc din nou și se combină în molecule cedînd căldură. Astfel se realizează transportul de căldură din zona arcului în spațiul înconjurător.

În momentul trecerii curentului prin zero și în timpul restabilirii tensiunii, coloana arcului lung nu-și pierde total conductivitatea. Această conductivitate, numită reziduală, are în momentul trecerii curentului prin zero o valoare apreciabilă, care apoi, fie continuă să scadă pînă la stingerea totală a arcului, fie că după atingerea unei valori minime începe din nou să crească.

În întreruptoarele de înaltă tensiune, curentul de arc este funcție nu numai de timp, ci și de distanța între contactele care se deplasează. Din această cauză, parametrii arcului electric: temperatura, presiunea și compoziția gazelor, diametrul coloanei arcului și turbulența depind atît de timp cît și de condițiile locale din întreruptor.

2.3.5. Restabilirea tensiunii între contactele întreruptorului

Modul de funcționare a întreruptoarelor de înaltă tensiune depinde atît de valorile curenților și tensiunilor întrerupte, cît și de modul de variație a tensiunii, care se restabilește între contactele aparatului, la deconectarea unui defect. În timpul existenței arcului electric, tensiunea între contactele întreruptorului este mică, ea atingînd valoarea sa nominală după un scurt interval de timp de la interuperea curentului. Între aceste valori extreme, se desfășoară procesul de restabilire a tensiunii între contactele întreruptorului; acesta se prezintă, în general, sub forma unor oscilații de înaltă frecvență, avînd amplitudini care pot să depășească cu mult amplitudinea tensiunii de regim. Dacă întreruptorul nu reușește să stingă arcul la prima trecere a curentului prin zero, acesta se reaprinde și la una din următoarele repetări ale acestui fenomen, aparatul trebuie să asigure stingerea difinitivă a arcului electric, deci întreruperea completă a circuitului.

După cum se știe, centralele electrice din țara noastră au atins puteri instalate de peste 1000 MW cu grupuri generatoare de 200 și 345 MW, sînt în funcțiune linii de 220 și 400 kV și transformatoare de 400 MVA. Această dezvoltare, care va continua în viitor, condiționează apariția unor puteri de scurtcircuit din ce în ce mai mari, care cauzează solicitări mari întreruptoarelor. Solicitarea este amplificată și de tensiunea care se restabilește la întreruperea unui circuit. Deci pentru a putea aprecia puterea de rupere a întreruptorului, este necesar să se cunoască și felul în care se restabilește tensiunea la sfîrșitul fiecărei semiperioade a arcului electric. Aceasta cu atît mai mult cu cît au fost cazuri de funcționare anormală a aparatelor de comutație la puteri de scurtcircuit mai mici decît valorile lor nominale. Din această cauză, este necesară stabilirea condițiilor reale din rețeaua în care funcționează întreruptoarele — condiții legate de parametrii tensiunii de restabilire din sistemele energetice. Fenomenele tranzitorii care însoțesc procesul de închidere sau deschidere a întreruptoarelor evoluează așa cum s-a spus mai sus, cu mărirea tensiunii de serviciu și cu dezvoltarea rețelelor.

Procesul de restabilire a tensiunii la bornele întreruptorului are o mare influență asupra funcționării aparatului de comutație. Fenomenul de restabilire a tensiunii poate fi considerat compus din două etape succesive:

a. etapa tranzitorie, cînd peste tensiunea de frecvență industrială a sursei se suprapune o componentă tranzitorie;

b. etapa stabilizată, cînd în circuit acționează numai tensiunea de frecvență industrială a sursei.

Tensiunea tranzitorie de restabilire este tensiunea de restabilire care comportă o componentă tranzitorie apreciabilă suprapusă tensiunii de frecvență

industrială. Această componentă poate fi *periodică* sub formă de oscilație cu una sau mai multe frecvențe, *aperiodică* (de exemplu, exponențială) sau o combinație a acestora, după caracteristicile circuitului și ale întreruptorului. Caracteristicile cele mai importante ale acesteia sînt: valoarea de vîrf și viteza sa de creștere.

Pentru circuitele trifazate, tensiunea tranzitorie de restabilire se referă la tensiunea bornelor polului care întrerupe primul.

Tensiunea stabilizată de restabilire între contactele întreruptorului este tensiunea care persistă între bornele unui pol al întreruptorului după dispariția componentei tranzitorii. Pentru circuitele trifazate ea poate fi definită ca fiind valoarea efectivă a tensiunii sursei care apare între faze după stingerea definitivă a arcului electric în toate fazele și după amortizarea proceselor tranzitorii.

Tensiunea tranzitorie de restabilire proprie a unui circuit este tensiunea tranzitorie de restabilire care rezultă exclusiv din caracteristicile proprii ale circuitului respectiv, independent de orice influență a întreruptorului. Aceasta corespunde întreruperii circuitului considerat de către un întreruptor ideal, cînd curentul este simetric și sinusoidal și tensiunea de restabilire de frecvență industrială are o valoare specificată.

2.3.6. Parametrii caracteristici ai tensiunii de restabilire

Forma curbei tensiunii de restabilire este determinată de caracteristicile circuitului în care are loc ruperea. Într-un circuit, care poate fi reprezentat printr-o schemă echivalentă ce conține o inductivitate L, o rezistență R și o capacitate C (circuit cu o singură frecvență), tensiunea de restabilire va avea o singură frecvență proprie și se va exprima prin ecuația:

$$u_r = E_m(1 - e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t), \qquad (2-58)$$

în care: u_r este valoarea instantanee a tensiunii tranzitorii de restabilire;
E_m — amplitudinea tensiunii sursei (de frecvență industrială) la bornele polului considerat al întreruptorului;
ω_0 — pulsația proprie a circuitului, care depinde de parametrii acestuia;
α — coeficientul de amortizare.

Expresia (2—58) este valabilă în următoarele ipoteze: în momentul trecerii curentului prin zero, tensiunea sursei are valoarea de vîrf și în același moment, spațiul dintre contactele polului respectiv al întreruptorului își pierde complet conductanța. Figura 2.43 reprezintă procesul de restabilire corespunzător expresiei (2—58).

Tensiunea tranzitorie de restabilire cu o singură frecvență proprie poate fi caracterizată prin următorii parametri:

a) valoarea de vîrf a tensiunii tranzitorii de restabilire, e_m este valoarea instantanee maximă atinsă de tensiunea de restabilire;

b) viteza de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire, măsurată în V/μs, $S_A = du_r/dt$, determinată prin panta dreptei care unește originea axelor de coordonate, cu punctul în care tensiunea atinge valoarea de vîrf (fig. 2.43); ea caracterizează alura acestei tensiuni;

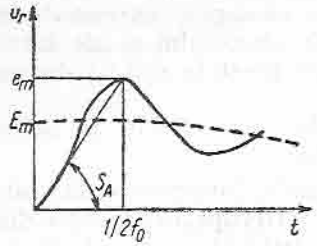


Fig. 2.43

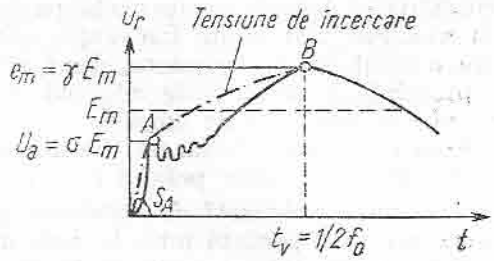


Fig. 2.44

c) factorul de amplitudine al tensiunii tranzitorii de restabilire este raportul dintre cea mai mare valoare de vîrf a acestei tensiuni și valoarea de vîrf a tensiunii sursei: $\gamma = e_m/E_m$.

În general, reprezentarea rețelelor sistemelor electrice reale nu se poate face printr-un circuit cu o singură frecvență proprie de oscilație, ci prin circuite cu două, trei sau mai multe frecvențe de oscilație.

Pentru modelarea schemei de încercare a întreruptoarelor în laborator, precum și pentru compararea puterii de rupere a întreruptorului care este încercat într-o astfel de schemă, cu puterea de rupere a întreruptorului în condițiile reale dintr-o rețea oarecare, s-a impus necesitatea stabilirii unor metode care să permită echivalarea parametrilor unei tensiuni tranzitorii de restabilire cu mai multe frecvențe, cu parametrii unei tensiuni cu o singură frecvență.

Pentru a realiza o echivalare a curbelor de variație a tensiunilor tranzitorii de restabilire s-a încercat să se delimiteze anumite zone ale curbelor care prezintă o influență deosebită asupra puterii de rupere a întreruptoarelor. Aceste încercări au condus la definirea a patru sau cinci parametri. În figura 2.44 sînt definiți cei patru parametri:

— *frecvența proprie*: $f_0 = 1/2\ t_v$, t_v fiind timpul necesar pentru a atinge valoarea de vîrf;

— *factorul de amplitudine*: $\gamma = e_m/E_m$;

— *factorul de creștere*: $\sigma = U_a/E_m$, U_a fiind valoarea tensiunii corespunzătoare primului vîrf;

— *viteza de creștere inițială*: $S_A = \mathrm{d}u_r/\mathrm{d}t$.

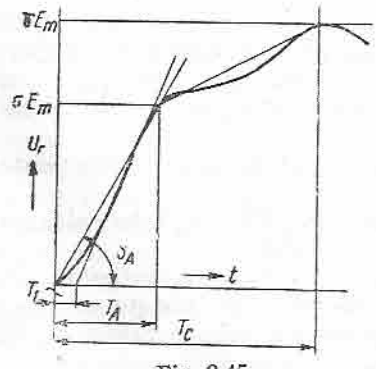


Fig. 2.45

În figura 2.45 sînt definiți cei cinci parametri:

— întîrzierea inițială T_1;
— viteza de creștere inițială S_A;
— factorul de amplitudine al primului vîrf σ;
— factorul de amplitudine γ;
— timpul T_c corespunzător valorii maxime a tensiunii tranzitorii de restabilire.

Tensiunea tranzitorie de restabilire poate fi determinată prin înregistrarea curbei de variație a tensiunii cu un oscilograf ca-

todic. Altă cale de determinare a tensiunii tranzitorii de restabilire constă în:

— determinarea prin calcul și măsurări a valorilor inductanțelor și capacităților rețelei;

— realizarea unei scheme echivalente a rețelei;

— reducerea acestei scheme la una din schemele uzuale cu una, două sau trei frecvențe proprii;

— stabilirea curbei pe baza teoremei lui Thévenin generalizată.

De asemenea, se folosesc și metode de calcul a tensiunii tranzitorii de restabilire cu ajutorul calculatoarelor cifrice [1].

2.4. Izolația aparatelor electrice

2.4.1. Considerații generale

Izolația electrică a aparatelor este destinată să izoleze căile de curent ale aparatelor între faze, între polii aceleiași faze, precum și între faze și părțile legate la pămînt ale aparatelor și ale stațiilor de distribuție. De asemenea, elementele izolatoare dintr-un aparat realizează și îmbinarea mecanică a diferitelor părți ale aparatului.

Rigiditatea dielectrică a izolației se caracterizează prin tensiunea de străpungere și tensiunea de conturnare.

Tensiunea de străpungere este tensiunea la care are loc străpungerea dielectricului, iar *tensiunea de conturnare* este tensiunea la care are loc descărcarea pe suprafața dielectricului solid, suprafața fiind uscată și curată sau umedă.

În funcționarea normală a instalației electrice, calea de curent a aparatelor se află sub tensiunea nominală de serviciu a rețelei, atingînd cel mult valoarea tensiunii maxime de lucru. În unele cazuri, tensiunea poate să depășească aceste valori nominale și anume pot să apară supratensiuni, adică cîmpuri electrice periculoase pentru izolație.

Aceste supratensiuni se împart în trei mari categorii.

1. Supratensiuni externe sau atmosferice care sînt provocate de lovituri de trăsnet *directe* în instalația energetică și care sînt și cele mai periculoase. Mai puțin periculoase dar mai dese sînt supratensiunile atmosferice *induse*, produse de loviturile de trăsnet în apropierea instalației electrice. Valoarea acestor supratensiuni este între 80 și 500 kV. Trebuie subliniat că valoarea acestor supratensiuni nu depinde de tensiunea nominală a rețelei, au o durată foarte scurtă și o formă foarte puternic amortizată.

2. Supratensiuni de comutație care se datoresc manevrelor voite sau automate din instalațiile energetice, avariilor etc. Aceste supratensiuni au o durată scurtă și o formă puternic amortizată.

3. Supratensiuni temporare ca, de exemplu, creșterile de tensiune la descărcarea automată a sarcinii, la ieșirea din sincronism sau în procesul de sincronizare, supratensiunile de rezonanță sau ferorezonanță etc. se caracterizează printr-o durată relativ lungă și o formă neamortizată sau slab amortizată.

Izolația aparatelor suportă aceste solicitări în condiții variate. În instalațiile de interior, izolația este protejată de acțiunea factorilor atmosferici, spre deosebire de izolația aparatelor montate în exterior care este solicitată la supratensiuni sub acțiunea simultană a ploii, zăpezii, poleiului, depunerilor de impurități solide și lichide etc.

Aparatele de înaltă tensiune se încearcă la un nivel de izolație corespunzător tensiunii nominale pentru care au fost construite. Acest nivel este stabilit de schemele de protecție folosite în sistemul energetic respectiv. Nivelele de izolație, adică tensiunea la care se încearcă echipamentele, sînt reglementate prin standarde naționale (STAS 6489—67) și prin recomandări internaționale (CEI etc.)

În construcția aparatelor de înaltă tensiune se folosesc, în principal, următoarele materiale și medii izolante: aer, hexafluorură de sulf, ulei de transformator, porțelan, steatită, hîrtie, bachelită, pertinax, preșpan, mase plastice, steclotextolit, rășini epoxidice etc. precum și diferite elemente izolante ca:

— *izolatoare suport, de suspensie și de trecere* (fig. 2.46, *a*, *b*, *c*, *d*) care sînt destinate să izoleze electric și să susțină mecanic căile de curent din aparate;

— *carcase* (fig. 2.46, *f*) formate din izolatoare tubulare și în care se așază părți conductoare de curent ale aparatelor sau diferite alte elemente;

— *tije și pîrghii izolante* (fig. 2.46, *g*) care sînt destinate pentru transmiterea mișcării de la părțile legate la pămînt la căile mobile de curent ale aparatelor;

— *conducte izolante pentru aer* (fig. 2.46, *h*) prin care se transmite aer comprimat diferitelor piese ale întreruptoarelor cu aer care se află sub tensiune.

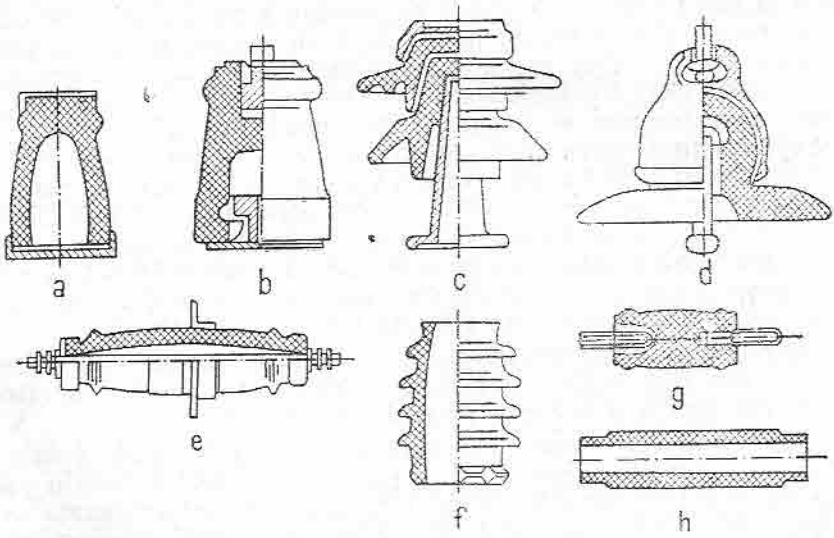


Fig. 2.46

Aceste elemente izolante trebuie să suporte tensiunea necesară la conturnare pe suprafață, precum și sarcina mecanică care li se aplică.

Pentru înlăturarea străpungerii izolației, valoarea tensiunii de străpungere prin grosimea ei se ia cu 10—15% mai mare decît valoarea tensiunii de conturnare sau decît valoarea tensiunii de străpungere dintre spațiile de aer.

Valoarea tensiunii de descărcare pe suprafața izolatorului depinde de distanța minimă prin aer dintre electrozii izolatorului, adică de distanța de conturnare, din care cauză înălțimea izolatorului se determină în funcție de tensiunea de conturnare pe care izolatorul trebuie să o suporte. Distanța minimă dintre muchiile interioare ale armăturii izolatorului se numește *înălțime activă*. Pentru izolatoarele de porțelan raportul dintre diametrul exterior și înălțimea sa totală se ia, de obicei, 1:5.

Forma exterioară a izolatoarelor depinde de condițiile în care acestea trebuie să funcționeze. Izolatoarele instalațiilor interioare se confecționează, în majoritatea cazurilor, cu proeminențe inelare (fig. 2.47, *a*). Izolatoarele pentru instalațiile exterioare se confecționează cu distanțele de conturnare mărite, ceea ce se realizează, de obicei, prin creșterea suprafeței laterale, prin dezvoltarea nervurii (fig. 2.47, *b*). Nervurile se fac sub formă de umbrelă pentru a asigura prelingerea ușoară a apei provenite din ploaie. În acest scop, marginile nervurilor se îndoaie în jos pentru a se obține așa-numita picurătoare, astfel că apa se scurge pe marginile nervurii de jos, fără a forma un circuit conductor închis de-a lungul suprafeței izolatorului, între armături.

Cu scopul de a proteja suprafața porțelanului împotriva diferitelor acțiuni atmosferice și chimice, această suprafață se acoperă cu un strat subțire de glazură.

În cazul cînd distanța de conturnare a izolatoarelor suport depășește 2 m se utilizează o armătură de protecție sub formă de inele.

Valoarea minimă a tensiunii de conturnare la impuls, în funcție de distanța de conturnare în stare uscată l_{us}, este dată de relația:

$$U_{i\,min} = 5{,}15 l_{us}. \quad [\mathrm{kV}_{max}]$$

Tensiunea de conturnare în stare umedă a izolatoarelor depinde de tipul și forma izolatoarelor, de caracteristicile ploii, forța acesteia, de conductivitatea ei, de unghiul de înclinare a jetului etc. precum și de natura tensiunii aplicate.

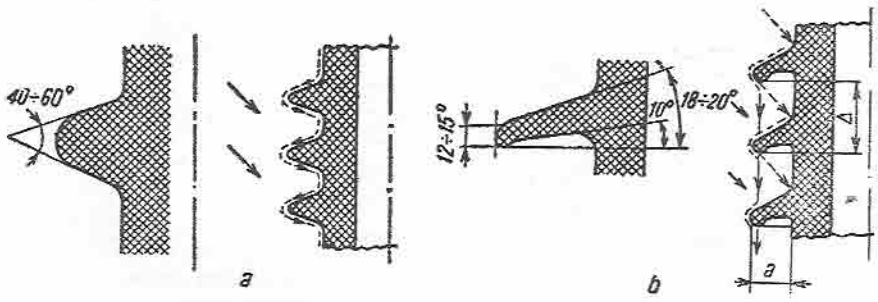


Fig. 2.47

Valoarea minimă a tensiunii de conturnare în stare umedă, la frecvenţa 50 Hz, este proporţională cu distanţa de conturnare în stare uscată şi se exprimă prin formula empirică:

$$U_{um} = 2{,}15 l_{us}, \ [\text{kV}]$$

în care l_{us} este distanţa de conturnare în stare uscată.

2.4.2. Tipuri constructive de izolatoare de înaltă tensiune

Izolatoarele suport sînt destinate pentru susţinerea mecanică a pieselor aparatelor, a barelor colectoare etc. Construcţia acestor izolatoare poate fi simplă sau compusă (formată din cîteva elemente, identice sau diferite).

Un izolator suport de construcţie simplă, pentru instalaţii interioare (fig. 2.48, *a*) este compus din corpul izolatorului *2*, şi din armăturile metalice-inferioară *1* şi superioară *3*, armate în majoritatea cazurilor cu ciment.

Izolatoarele suport pentru exterior sînt de tipul tijă, cu nervuri inelare (fig. 2.48, *b*), cu nervuri elicoidale (fig. 2.48, *c*) sau de tipul clopot (fig. 2.48, *d*).

Izolatoarele suport pentru instalaţiile exterioare cu tensiunea de 110 kV şi mai mult se confecţionează, de regulă, compuse. De exemplu, izolatorul pentru 110 kV poate fi compus din trei izolatoare tip clopot, pentru 35 kV (fig. 2.49, *a*) sau din trei izolatoare tip tijă pentru 35 kV. Pentru mărirea rezistenţei mecanice, izolatoarele compuse care funcţionează la tensiuni mai înalte se confecţionează sub formă de coloane duble sau triple sau sub formă de construcţii speciale (fig. 2.49, *b*).

Suporturile izolante şi izolatoarele suport sînt fabricate de industria electrotehnică din România conform condiţiilor tehnice specificate în STAS 6390—69. Dimensiunile izolatoarelor suport sînt stabilite de STAS 5852—72, STAS 1785—73 şi de norme interne.

Diferenţa dintre noţiunile suport izolant şi izolator suport constă în faptul că suportul izolant este un dispozitiv complet, cu armături, servind la fixarea rigidă a unui conductor sub tensiunea, pe cînd izolatorul suport reprezintă numai elementul din material izolant care constituie izolaţia principală a suportului izolant.

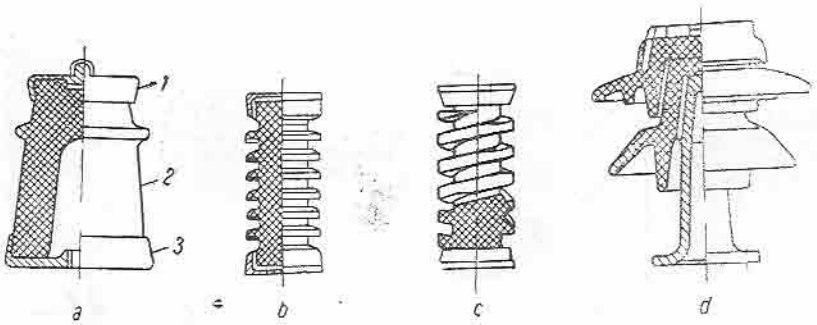


Fig. 2.48

Tensiunile de încercare ale suporturilor izolante sînt reglementate de STAS 6489—67. Restul caracteristicilor fizico-chimice, aspectul, toleranţele la dimensiuni, la ovalitate şi curbură etc. se reglementează de STAS 6390—69. Materialul izolatoarelor de porţelan folosit la marea majoritate a suporturilor izolante trebuie să îndeplinească condiţiile tehnice impuse de STAS 3471—62.

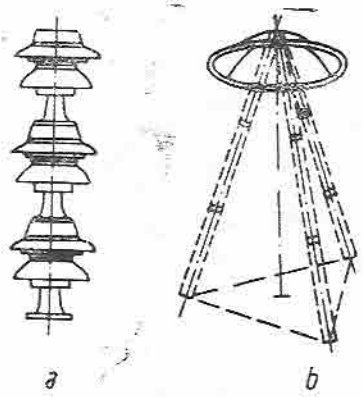


Fig. 2.49

Izolatoarele de suspensie se folosesc pentru suspendarea liniilor aeriene care funcţionează la tensiuni nominale peste 35 kV şi în condiţii grele de exploatare cînd nu se mai pot utiliza izolatoarele rigide de tip suport, care sînt sensibile la solicitările mecanice.

Izolatoarele de trecere servesc la izolarea unui conductor care trece printr-un capac sau separaţie din aparat legată la pămînt, precum şi printr-o separaţie sau un perete în instalaţiile de distribuţie.

Izolatoarele de trecere ale aparatelor reprezintă nişte construcţii speciale, destinate pentru anumite tipuri de aparate de înaltă tensiune ca întreruptoare, separatoare, transformatoare de curent şi altele.

Pentru unele separatoare, la care unul sau ambele izolatoare sînt de trecere, se folosesc, de obicei, izolatoare de porţelan normale de serie, de trecere, cu armătura adaptată (flanşe, capace) la construcţia separatorului.

Izolatoarele de trecere se execută sub diferite forme ca: izolatoare de trecere cu ecrane în ulei (fig. 2.50, *a*), izolatoare de trecere tip condensator, cu hîrtie bachelizată (fig. 2.50, *b* şi *c*) şi izolatoare de trecere tip condensator cu izolaţie internă de hîrtie şi ulei.

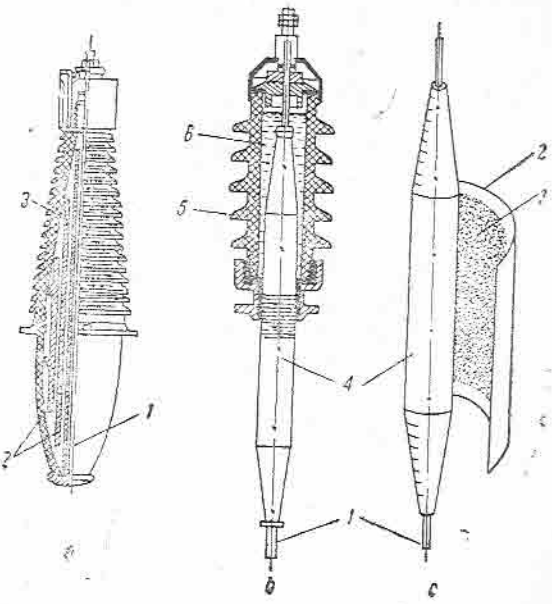


Fig. 2.50

Izolatoarele de trecere cu ulei şi ecrane (denumite adesea izolatoare umplute cu ulei) constau, în principal, dintr-o bară conductoare *1*, cu ecrane izolante *2* aşezate concentric împrejurul acesteia, sub formă de cilindri din material izolant solid (hîrtie bachelizată, porţelan), între care, în canalele în formă de inel *3*, se află ulei de transformator (fig. 2.50, *a*). Prezenţa ecranelor interioare şi a circulaţiei uleiului între acestea ridică rigiditatea dielectrică a izolatorului şi tensiunea de străpungere termică.

Izolatoarele de trecere tip condensator folosesc principiul condensatorului pentru distribuirea mai uniformă a tensiunii pe direcţia radială şi axială.

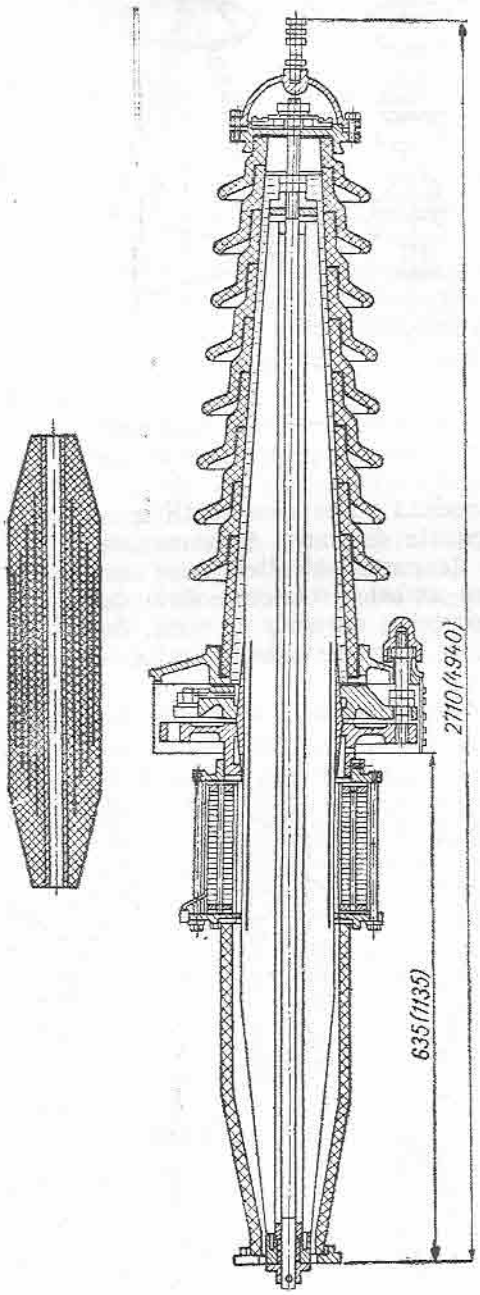


Fig. 2.51

După construcţie, izolatoarele de trecere tip condensator pot fi împărţite în:

a) izolatoare de trecere tip condensator de bachelită;

b) izolatoare de trecere tip condensator cu izolaţie din hîrtie şi ulei.

a. La confecţionarea izolatorului de trecere tip condensator de bachelită, hîrtia bachelizată *2* sub formă de bandă continuă lată se înfăşoară pe bara conductoare *1* cu ajutorul unor maşini speciale, introducînd concomitent şi foiţele metalice. Apoi bucşa *4* se încălzeşte în cuptor, capetele ei se prelucrează în formă de con, iar suprafaţa se acoperă de mai multe ori cu un lac rezistent la umiditate (fig. 2.50, *c*).

Plăcile conductoare uniformizează cîmpul electric din izolator, ceea ce uşurează reducerea gabaritelor, în special pe direcţie radială. Astfel de izolatoare de trecere tip condensator de bachelită pot fi confecţionate pentru tensiunea pînă la 35 kV în instalaţiile interioare, însă nu sînt suficient de stabile la umiditate. De aceea, pentru tensiunile pînă la 110 kV în instalaţiile exterioare, aceste bucşe de bachelită se introduc într-o manta de porţelan *5*, care le protejează împotriva umezelii. Spaţiul dintre învelişul de porţelan şi bucşa de bachelită se umple cu ulei *6* (fig. 2.50, *b*). Siguranţa în funcţionare a acestor izolatoare depinde, într-o mare măsură, de calitatea uleiului şi de prezenţa unor garnituri bune care să împiedice pătrunderea umezelii din atmosferă în interiorul izolatoarelor.

Dezavantajele acestor construcţii, examinate mai înainte au stimulat trecerea, în special odată cu introducerea unor tensiuni mai înalte (pînă la 500 kV), la izolatoare de trecere avînd izolaţia din hîrtie de condensator şi ulei.

b. La aceste izolatoare se foloseşte izolaţia compusă din hîrtie de condensator şi ulei, care asigură o distribuire mai uniformă a tensiunii în izolaţia cilindrică, atît în direcţie radială, cît şi în direcţie axială.

Izolaţia cu hîrtie de condensator se obţine prin înfăşurarea pe bara sau tubul conductor a unei benzi late continue de hîrtie, pe care se aşază în anumite locuri

plăci de condensator sau se aplică straturi bune conducătoare de electricitate.

Folosirea izolației cu hîrtie de condensator și ulei și a unei protecții sigure a marginilor plăcilor de condensator, folosirea unui ulei de calitate superioară avînd izolatorul ermetizat, atenția deosebită la calculul și la tehnologia fabricării permit reducerea substanțială a diametrului și a greutății izolatoarelor, precum și îmbunătățirea caracteristicilor acestora.

În figura 2.51 este reprezentată o trecere izolantă tip condensator din hîrtie de condensator și ulei, de fabricație sovietică, pentru 110 (220) kV.

Trecerile izolante și izolatoarele de trecere utilizate în industria electrotehnică din România sînt executate ca să satisfacă condițiile tehnice prevăzute în STAS 6391—69. Dimensiunile izolatoarelor de trecere sînt stabilite de STAS 5851—68, STAS 689—61, STAS 1786—61, STAS 3538—61, precum și de norme interne.

Izolații turnate. Folosirea acestor izolații permite să se adopte o cu totul altă construcție și să se confecționeze nu numai construcții izolante pentru aparate de înaltă tensiune, ci și aparate în întregime, reducînd astfel gabaritele și greutatea aparatelor, făcîndu-le prin aceasta mai simple și mai ieftine.

Rigiditatea dielectrică ridicată și rezistența mecanică mare a izolației pe bază de rășini epoxidice, împreună cu proprietățile de turnare bune ale acestor rășini și proprietatea adezivă bună a acestora, permit ca, prin turnare, să se confecționeze atît construcții electroizolante separate (izolatoare și altele), cît și construcții de aparate în întregime, legate organic cu izolația turnată.

Cea mai largă răspîndire a căpătat-o izolația turnată pe bază de rășini epoxidice în construcțiile transformatoarelor de curent și de tensiune. Această folosire este condiționată de particularitățile constructive și de avantajele tehnologice ce se pot obține pentru aceste aparate, datorită trecerii la izolația turnată.

Construcțiile transformatoarelor de curent cu izolație turnată pot fi făcute aproape pentru toate tipurile și destinațiile cunoscute.

În figura 2.52 este reprezentat aspectul exterior al cîtorva construcții de transformatoare de curent cu izolație turnată, pentru tensiunea pînă la 35 kV, iar în figura 2.53, aspectul transformatorului de curent pentru tensiunea de 110 kV. În

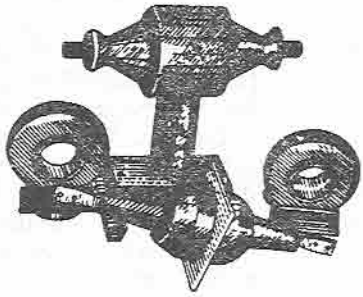


Fig. 2.52

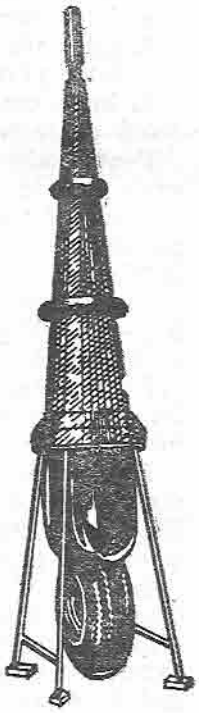


Fig. 2.53

cazul izolației turnate, bobinajele transformatorului de curent sînt nu numai așezate în stratul izolator, ci și protejate de un înveliș izolator solid și, de aceea, nu se mai impune necesitatea unui înveliș special.

Configurația aparatului cu izolație turnată este condiționată de forma de turnare. De exemplu, orma transformatorului de curent are un suport pentru sistemul magnetic cu bobinaj, un dispozitiv pentru montarea bornelor bobinajului secundar etc.

Izolația turnată pe bază de rășini epoxidice începe să fie utilizată la întreruptoarele cu ulei puțin (pentru izolația exterioară și pentru camerele de stingere), la descărcătoare etc. Unele piese — corpurile aparatelor, izolatoarele de susținere și altele — se confecționează prin turnare.

La confecționarea, de exemplu, a suporturilor izolante din rășină epoxidică, armătura sub formă de piesă cu găuri filetate pentru fixare se include prin turnare în corpul izolatorului, ceea ce reduce înălțimea totală a acestuia.

2.4.3. Alegerea izolației aparatelor de înaltă tensiune

La construcțiile aparatelor de înaltă tensiune, în general, trebuie asigurată izolația electrică:

a. între părțile care se află sub tensiune și părțile legate la pămînt;

b. între părțile aceluiași pol care au diferite potențiale;

c. între părțile polilor alăturați care se află sub tensiune înaltă;

d. între contactele aparatului între care apare periodic arcul electric (cînd contactele sînt comp et deschise).

Pentru alegerea economică a izolației, supratensiunile care au loc în exploatare trebuie limitate în măsura posibilității. În practică, acest lucru nu poate fi realizat pe deplin și izolația aparatelor se alege cu o anumită rezervă. În prezent, se obișnuiește să se aleagă izolația aparatelor pînă la 220 kV, astfel încît aceasta să suporte supratensiunile interne, posibile în exploatare, aproximativ de (2,5 — 3,0) U_f, iar izolația aparatelor pentru 330—500 kV — de 2,5 U_f. Valoarea supratensiunilor atmosferice de impuls se limitează pînă la valori corespunzătoare cu ajutorul descărcătoarelor.

La aparatele de înaltă tensiune, deteriorarea izolației electrice a diferitelor elemente ale construcției poate avea un caracter diferit pentru izolația internă și cea externă.

Izolația externă este izolația părților externe ale aparatelor, constînd din distanțe de separare în aer sau suprafețe izolante în aer, supuse în același timp unei solicitări dielectrice și influenței condițiilor atmosferice sau unor agenți exteriori.

Izolația internă este izolația părților interioare ale aparatelor nesupusă condițiilor atmosferice și agenților exteriori, la care mediul izolant constă dintr-un dielectric lichid sau semisolid. Izolația *de interior* este izolația externă a unui aparat destinat să funcționeze în interiorul clădirilor, iar izolația *de exterior* este o izolație externă a unui aparat construit să funcționeze în afara clădirilor, deci o izolație expusă intemperiilor.

Străpungerea intervalelor de conturare a izolației sau a altor intervale deschise în aer, precum și conturarea pe suprafața exterioară a izolatoarelor de porțelan, care se află în exterior, se poate considera nepericuloasă. Mai

periculoase sînt descărcarea în cavităţile interioare ale izolatoarelor, străpungerea izolaţiei solide, străpungerea izolaţiei formate din ulei şi ecrane, a trecerilor izolante şi altele.

Deteriorarea izolaţiei interne datorită străpungerii spaţiilor izolante în ulei sau aer, străpungerii dielectricilor solizi şi altele sînt foarte periculoase.

Izolaţia externă a aparatului se calculează plecînd de la tensiunile de conturnare minime, normate.

Valorile tensiunilor de conturnare de calcul U_{cc}, pentru diferite elemente ale izolaţiei aparatului, pot fi determinate în general cu formula:

$$U_{cc} = k_s U_c,$$

în care: k_s este un coeficient de rezervă (siguranţă) care depinde de tipul elementului izolator şi de condiţiile de funcţionare; valoarea acestuia se află între limitele 1,0 — 1,6;

U_c — tensiunea de conturnare (de frecvenţă industrială sau de impuls), prevăzută de norme.

Distanţele minime admise de izolare în aer între diferite părţi conductoare şi între părţile conductoare şi părţile legate la pămînt ale instalaţiilor, cu tensiunea de 3—220 kV, sînt indicate în tabelul 2.5.

Tabelul 2.5

Distanţele minime de izolare în aer dintre părţile sub tensiune şi părţile legate de pămînt

Tensiunea, kV / Distanţa, mm	Nominală	3	6	10	35	110	220
	Maximă de lucru	3,3	6,6	11	38,5	121	242
Pînă la părţile legate la pămînt şi între părţile izolate, parcurse de curent, ale diferitelor faze	Instalaţii exterioare	125	160	200	430	1100	2100
	Instalaţii interioare	75	100	125	290	800	—
Între părţile parcurse de curent decuplate, ale uneia şi aceleiaşi faze a întreruptorului	Instalaţii exterioare	150	175	220	475	1200	2300
	Instalaţii interioare	85	110	145	385	—	—
Idem, pentru separatoare	Instalaţii exterioare	160	185	230	495	1260	2415
	Instalaţii interioare	90	120	155	405	—	—

Capitolul III

CONTACTE ELECTRICE

3.1. Considerații generale

Contactul electric este ansamblul constructiv cu ajutorul căruia se realizează o legătură electrică între două sau mai multe părți conductoare pentru a permite trecerea curentului electric de la unele la altele.

Contactele electrice reprezintă părțile cele mai solicitate ale căilor de curent ale echipamentelor electrice. În exploatare, contactele sînt supuse efectelor termice ale curenților, uzurii datorită ciocnirilor și frecărilor, precum și acțiunii arcului electric care însoțește operațiile de anclanșare și declanșare a circuitelor electrice. Din aceste motive, o realizare sau o întreținere necorespunzătoare a contactelor electrice poate să conducă la distrugerea aparatului respectiv și, eventual, la avarii importante în sistemul electroenergetic.

Condițiile principale care se impun contactelor electrice sînt următoarele:

— siguranța legăturii de contact;

— rezistență mecanică suficientă;

— stabilitate termică și electrodinamică la trecerea curenților de regim normal de funcționare sau de scurtcircuit;

— rezistență la acțiunea arcului electric;

— realizarea contactului fără lipire sau sudare datorită încălzirilor locale mari și topirii metalului contactului datorită temperaturii mari a arcului electric;

— rezistență la acțiunea factorilor externi etc.

3.2. Clasificarea contactelor electrice

În aparatele electrice de înaltă tensiune se folosesc diferite tipuri de contacte care se împart în două grupe principale:

— contacte *staționare*, la care în funcționarea aparatului nu intervine separarea sau deplasarea unei suprafețe de contact față de cealaltă;

— contacte *mobile*, la care în funcționarea aparatului intervin deplasări ale unei suprafețe de contact în raport cu cealaltă.

La rîndul lor contactele mobile se împart în:

— contacte de *întrerupere* (de deschidere și închidere a circuitelor), la care trebuie asigurată separarea suprafețelor de contact astfel încît contactul între aceste suprafețe să poată fi total întrerupt;

— contacte *alunecătoare*, la care trebuie asigurată deplasarea unei suprafețe de contact pe cealaltă, fără a se întrerupe contactul electric.

Din punct de vedere al formei geometrice a suprafeței de contact se deosebesc trei grupe, menționate în cele ce urmează.

1. *Punctiforme*, la care atingerea are loc într-un singur punct, adică practic pe o suprafață cu rază mică; din această grupă fac parte contactele între un vîrf de con și un plan, între o sferă și un plan sau între două suprafețe sferice etc.

2. *Liniare*, la care atingerea are loc pe o linie sau practic pe o suprafață foarte îngustă; din această grupă fac parte, de exemplu, contactele realizate între o suprafață laterală a unui cilindru și un plan sau între doi cilindri cu axele paralele etc.

3. *Plane*, la care atingerea se face pe o suprafață; din această grupă fac parte, de exemplu, contactele realizate între două plane bine ajustate cu secțiunea dreptunghiulară etc.

3.3. Rezistența de contact

Într-un circuit electric, prezența unui contact electric conduce, întotdeauna, la apariția unei rezistențe suplimentare în acest circuit.

Dacă se măsoară căderea de tensiune U pe un segment de conductor (figura 3.1,*a*), parcurs de curentul continuu I, rezistența segmentului de conductor va fi $R_0 = U/I$. Efectuînd apoi o retezare plană transversală a conductorului și punînd în atingere frontală cele două conductoare (figura 3.1,*b*), pentru același curent electric I se va măsura o tensiune $U' > U$, deci va rezulta o rezistență suplimentară R_c astfel încît: $R_0 + R_c = U'/I$.

Rezistența suplimentară R_c, adică *rezistența de contact*, se compune din *rezistența de strictiune* (*de trecere*), care se datorește strangulării liniilor de curent în locurile de atingere ale conductoarelor, și din *rezistența peliculară*, care se datorește existenței unor pelicule semiconductoare pe suprafețele de contact.

În figura 3.2,*a* sînt reprezentate suprafețele de contact a două conductoare. Se remarcă prezența unor proeminențe microscopice A, B și C, care constituie locurile de atingere directă ale conductoarelor. Aceste secțiuni strangulate provoacă mărirea densității locale de curent și deci și a pierderilor de tensiune.

Dacă cele două suprafețe de contact sînt așezate una peste alta, fără să fie apăsate cu o forță exterioară, atunci numărul punctelor de contact, precum și suprafața reală de contact vor fi mici (figura 3.2, *b*). Dacă piesele de contact sînt apăsate cu o forță F, materialul contactelor se deformează (figura 3.2,*c*), suprafața reală de contact se mărește, apar noi locuri de atingere.

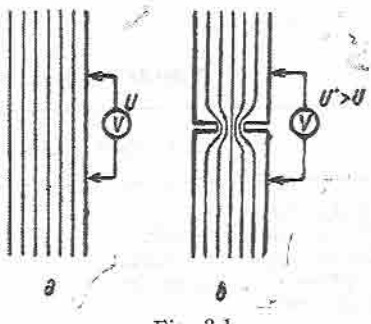


Fig. 3.1

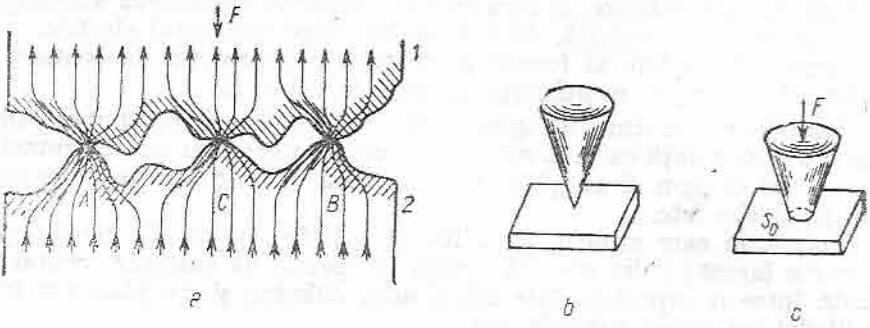


Fig. 3.2

Trecerea curentului electric prin peliculele de oxizi formate pe suprafețele de atingere ale elementelor de contact se explică fie prin *deformare plastică*, fie prin *fritare*. În primul caz, are loc o distrugere mecanică a peliculei și infiltrarea metalului contactelor în fisurile din peliculă. În al doilea caz, are loc distrugerea legăturilor în peliculă care poate conduce la apariția unui canal în care se dezvoltă căldură. Această căldură poate provoca topirea metalului contactelor și deci formarea unei punți de contact metalice.

Rezistența de strictiune depinde de rezistivitatea ρ a metalului pieselor de contact respective și se poate determina cu relația verificată experimental:

$$R = \frac{K}{F^m}, \qquad (3-1)$$

în care: F este forța totală de apăsare a contactelor;

K — un coeficient care depinde de natura metalului contactelor, de felul prelucrării și de starea suprafețelor de contact (tabelul 3.1);

m — un coeficient care depinde de forma contactelor și de numărul de puncte de atingere (tabelul 3.1).

În continuare, se vor examina factorii care influențează asupra valorii rezistenței de contact.

Tabelul 3.1

Valorile coeficienților K și m la suprafețe curățate de oxizi

Materialul contactelor	K [N]
Cupru—cupru	$(0{,}08-0{,}14)\cdot 10^{-2}$
Cupru—cupru cositorit	$(0{,}07-0{,}10)\cdot 10^{-2}$
Cupru—cupru ușor oxidat	$0{,}740\cdot 10^{-2}$
Cupru—cupru (forma deget)	$0{,}280\cdot 10^{-2}$
Cupru—cupru (perie)	$0{,}100\cdot 10^{-2}$

Tabelul 3.1 (continuare)

Materialul contactelor	K [N]
Argint—argint	$0{,}060 \cdot 10^{-2}$
Aluminiu—aluminiu	$0{,}127 \cdot 10^{-2}$
Aluminiu—alamă	$1{,}850 \cdot 10^{-2}$
Aluminiu—cupru	$0{,}380 \cdot 10^{-2}$
Aluminiu—cupru	$0{,}980 \cdot 10^{-2}$
Alamă—alamă	$0{,}670 \cdot 10^{-2}$
Oţel—oţel	$7{,}600 \cdot 10^{-2}$
Oţel—alamă	$3{,}040 \cdot 10^{-2}$
Oţel—cupru	$3{,}100 \cdot 10^{-2}$
Oţel—aluminiu	$4{,}400 \cdot 10^{-2}$
Tipul şi forma contactelor	m
Plan—plan sau lamelar	1
Tulipă	0,75
Deget adaptabil	0,5—0,65
Deget neadaptabil	0,5
Contact frontal	0,5
Sferă—sferă	0,5
Sferă—plan	0,5

1. Materialul contactelor. Acest factor influenţează asupra mărimii rezistenţei de stricţiune prin valorile rezistivităţii electrice ρ şi a rezistenţei la strivire σ. Rezistenţa de stricţiune va fi cu atît mai mică cu cît valorile ρ şi σ ale materialelor contactelor vor fi mai mici. Din acest motiv, piesele de contact sînt acoperite prin diverse procedee (galvanic, electromecanic etc.) cu argint, cositor etc.

2. Forţa de apăsare. La aceeaşi suprafaţă aparentă de contact, cu cît forţa de apăsare va fi mai mare cu atît va fi mai mică rezistenţa de stricţiune (figura 3.3: curba *1* — pentru cazul cînd forţa creşte; curba *2* — pentru cazul cînd forţa descreşte). Fiecare material de contact se caracterizează printr-o anumită valoare optimă a forţei de apăsare, care asigură presiunea limită peste care valoarea rezistenţei de contact practic nu mai creşte (tabel 3.2).

3. Temperatura contactelor. Această dependenţă este determinată de creşterea rezistivităţii ρ, precum şi de micşorarea rezistenţei de strivire σ a materialului contactelor. În figura 3.4 este redată această dependenţă. În domeniul temperaturilor mici (pînă la 200°C), rezistenţa de stricţiune creşte liniar cu temperatura. După

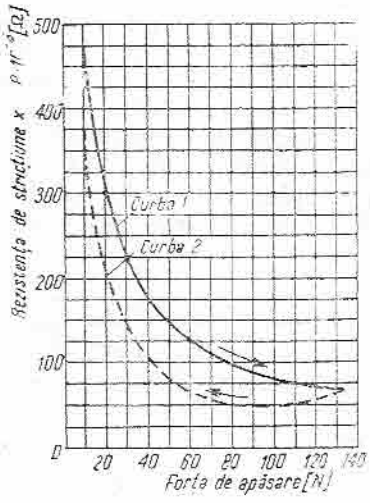


Fig. 3.3

Tabelul 3.2

Valorile optime ale presiunilor de contact la legăturile de contact fixe realizate prin buloane

Materialul	Prelucrarea suprafeței de contact	Presiunea [N/cm²]
Cupru	Cositorită	500 — 1000
Cupru, alamă, bronz	—	600 — 12000
Aluminiu	Curățată cu smirghel sub vaselină	2000 — 3000
Oțel	Cositorită	1000 — 1500
Oțel	—	6000
Aliaj de zinc	Prelucrată cu pila	200 — 500

aceea, urmează o scădere a rezistenței de stricțiune care se explică prin micșorarea rezistenței mecanice a materialului la temperaturi mai mari de 200 °C. Ca urmare, are loc o mărire a suprafeței reale de contact. După aceea, urmează o nouă creștere a valorii rezistenței de stricțiune pînă în momentul înmuierii și topirii materialelor contactului, cînd rezistența de stricțiune scade brusc.

4. Starea suprafeței de contact. În exploatare, pe suprafețele de contact se formează pelicule disturbatoare, de oxizi, sulfiți etc. sau pelicule de gaze adsorbite. Aceste pelicule se străpung periodic; în figura 3.5 este dată variația rezistenței de contact în funcție de timp: *1*, *2*, *3* și *4* sînt perioade de formare a peliculelor de oxid, iar t_i sînt momente cînd pelicula se distruge prin străpungere.

Oxidarea materialelor contactelor se realizează chiar la temperatura mediului ambiant 20...35 °C, însă se face cu atît mai rapid cu cît temperatura de regim este mai mare. Oxidarea contactelor în aer liber este mult mai rapidă decît oxidarea contactelor cufundate în ulei. De asemenea, încălzirea și răcirea alternativă precum și prezența în atmosferă a bioxidului de sulf, hidrogenului sulfurat, amoniacului, clorului și a vaporilor de acizi favorizează procesul de oxidare-corodare.

Îmbinările de contact realizate din două metale diferite sînt supuse unei coroziuni mai accentuate decît acelea din același metal, deoarece intervin cupluri electrochimice cu o anumită diferență de potențial. Cu cît metalele, care formează cuplul electric, sînt mai depărtate unul de altul în seria electrochimică (tabel 3.4) cu atît distrugerea unuia dintre metale va fi mai rapidă (se va distruge metalul cu potențialul negativ cel mai mare, adică metalul mai puțin nobil).

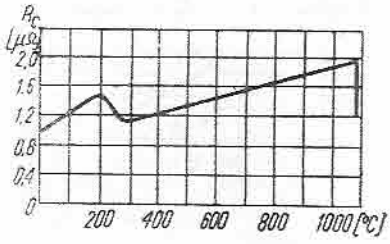


Fig. 3.4

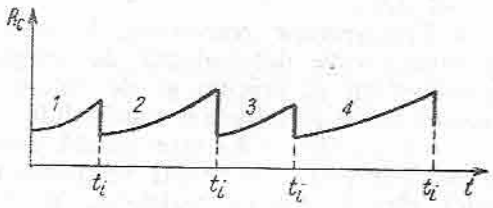


Fig. 3.5

Tabelul 3.3

Valorile coeficientului K, înainte și după oxidarea contactelor la o temperatură de +70°C

Materialul contactelor	Valorile lui K		Durata oxidării [zile]
	înainte de oxidare	după oxidare	
Cupru—cupru	$0{,}9 \cdot 10^{-4}$	1,33	36
Cupru—aluminiu	$9{,}8 \cdot 10^{-4}$	1,26	41
Cupru—alamă	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	0,665	38
Cupru—oțel	$31 \cdot 10^{-4}$	5,18	49
Aluminiu—aluminiu	$46 \cdot 10^{-4}$	0,3	54
Aluminiu—alamă	$18{,}5 \cdot 10^{-4}$	0,3	58
Aluminiu—oțel	$44 \cdot 10^{-4}$	2,37	45
Alamă—alamă	$6{,}7 \cdot 10^{-4}$	0,665	46
Alamă—oțel	$30{,}4 \cdot 10^{-4}$	3,4	46
Oțel—oțel	$76{,}0 \cdot 10^{-4}$	6,88	57,5

Tabelul 3.4

Seria electrochimică a tensiunilor

Potențialul în raport cu hidrogenul, în [V]	Pb	Ag	Cu	H	Sn	Ni	Co	Cd	Fe	Cr	Zn	Mn	Al
	0,86	0,8	0,345	0	−0,14	−0,2	−0,255	−0,4	−0,44	−0,56	−0,76	−0,1	−1,34

Protecția pieselor de contact împotriva coroziunii se realizează prin acoperiri anticorozive metalice în băi de galvanizare, în băi de metal topit, prin pulverizare în stare topită etc. Metalul utilizat trebuie să fie inoxidabil sau cu stratul de oxid bun conducător de electricitate. Grosimea stratului de protecție va fi cu atît mai mare cu cît condițiile de exploatare ale aparatului sînt mai grele.

Cuprul, alama și bronzul se acoperă, de regulă, cu un strat de cositor, argint sau nichel și crom. Cositorirea contactelor prezintă dezavantajul că, în caz de scurtcircuit, cositorul se poate topi și poate să stropească piesele alăturate.

Protecția împotriva coroziunii se realizează și prin acoperiri cu vaselină, lacuri etc., acoperiri care împiedică accesul aerului și al umezelii la locul de contact. În acest scop la montarea și la revizia aparatului, după curățirea prealabilă a pieselor de contact cu pila sau cu hîrtia abrazivă, suprafețele de contact se acoperă cu un strat de vaselină, iar după asamblarea contactului toată îmbinarea de contact se acoperă cu un lac, email sau rășină.

Valoarea rezistenței de contact depinde și de gradul prelucrării suprafeței de contact. Experiențele arată că prelucrarea fină a suprafețelor de contact din metale nenobile, în aer, conduce la rezistențe de circa 2000 de ori mai mari decît rezistența contactelor cu suprafețele prelucrate tehnic. Explicația constă în faptul că la o prelucrare fină numărul contactelor

elementare este mai mare decît numărul de contacte elementare ale unei suprafeţe prelucrate tehnic. Deoarece suprafeţele de contact se acoperă repede cu oxizi, şi deoarece forţa de apăsare are, în general, o valoare moderată, străpungerea peliculei va avea loc la un număr redus de puncte, ceea ce conduce la o rezistenţă mare. În schimb, este indicată prelucrarea fină a suprafeţelor de contact din metale nobile în scopul reducerii valorii rezistenţei de contact.

Evident că, cazul forţelor de apăsare mai mari, importanţa gradului de prelucrare a suprafeţelor de contact şi a oxidării scad.

3.4. Solicitările termice şi electrodinamice ale legăturilor de contact

La trecerea curentului prin contact, cea mai mare parte din căldura dezvoltată este concentrată într-un volum foarte mic din jurul suprafeţelor elementare reale de contact. În acest caz, temperatura măsurată pe suprafaţa exterioară de contact va fi mult mai mică decît temperatura pe suprafeţele reale de contact. Din studiul procesului de încălzire al pieselor de contact, în regim stabilizat, au rezultat temperaturile maxime admisibile ale legăturilor de contact (tabelul 3.5).

Tabelul 3.5

Temperaturile maxime admisibile ale contactelor

Tipul legăturii de contact	θ_s [°C]	τ_s [°C]
Legături de contact fixe	80	45
Legături de contact mobile	75	40
Părţi conductoare de curent în aer	110	75
Părţi conductoare de curent în ulei	90	55

Dimensiunile suprafeţelor aparente de contact se determină în funcţie de densitatea de curent admisibilă aparentă j_{adm}, care poate fi calculată cu ajutorul unor formule empirice.

Astfel, pentru contacte din cupru:

$I < 200$ A . . . . . $j_{adm} = 0{,}31$ A/mm²;

$200 < I < 2000$ A . . . $j_{adm} = 0{,}31 - 1{,}05 \cdot 10^{-4}\ (I - 200)$ A/mm²

$I > 2000$ A . . . . . $j_{adm} = 0{,}12$ A/mm².

În caz de scurtcircuit, are loc o creştere rapidă a temperaturii, ceea ce poate conduce la o micşorare a rezistenţei la strivire şi a limitei de elasticitate a materialelor contactelor. Îmbinările de contact trebuie să fie deci astfel dimensionate încît să nu se depăşească temperaturile maxime admisibile în caz de scurtcircuit:

200 ... 300 °C — pentru cupru, alamă şi bronz;

150 ... 200 °C — pentru aluminiu.

Valorile densităţilor de curent admisibile în caz de scurtcircuit, în funcţie de timpul de trecere a curentului de scurtcircuit sînt indicate în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6

Valorile densităţii de curent corespunzătoare stabilităţii termice la scurtcircuit, în [A/mm²]

Materialul contactelor	Timpul de trecere a curentului, în [s]		
	1	5	10
cupru ... $\theta_{ad} = 250\,°C$	152	67	48
alamă ... $\theta_{ad} = 250\,°C$	73	38	27
aluminiu ... $\theta_{ad} = 200\,°C$	89	40	28

Valorile din tabelul 3.6 nu se referă şi la contactele fixe înglobate în răşină, la care se admit densităţi de curent de circa 70% din valorile date pentru a se evita fisurarea răşinii datorită coeficientului ei de dilataţie diferit de cel al materialului contactelor.

Din punct de vedere al funcţionării contactelor mobile în condiţii de scurtcircuit se deosebesc trei faze: contactul mobil în poziţie închisă, închiderea contactului la scurtcircuit şi deschiderea contactului la scurtcircuit.

În poziţie închisă, pericolul pentru contact la scurtcircuit este sudarea suprafeţelor de contact. Energia termică produsă în contact, poate fi aşa de mare în cazul curenţilor de scurtcircuit, încît să topească suprafeţele şi apoi să le sudeze. Intensitatea curentului I_{sud} sub care are loc topirea şi sudarea contactelor este direct proporţională cu rădăcina pătrată din forţa de apăsare a contactelor, în N:

$$I_{sud} \approx \sqrt{\frac{F}{K_t}}, \quad [\mathrm{A}]$$

unde: K_t este un coeficient care depinde de materialele contactului şi anume de rezistivitate, de duritate, de temperatura de topire etc. (tabel 3.7).

Tabelul 3.7

Valorile coeficientului K_t

Materialul contactului	K_t
Cupru — cupru	$6 \cdot 10^{-8}$
Cupru — alamă	$5{,}9 \cdot 10^{-8}$
Cupru — oţel	$4{,}35 \cdot 10^{-8}$
Aluminiu — alamă	$3{,}9 \cdot 10^{-8}$

La închiderea contactului pe un scurtcircuit, în momentul inițial presiunea este mică. Datorită acestui fapt, căldura dezvoltată în contact poate să fie așa de mare, încît contactele să se topească în punctele de atingere, provocînd sudarea lor, care de obicei are loc la sfîrșitul închiderii, în timpul răcirii. În acest caz, cu cît viteza de deplasare a părților mobile și presiunea de contact vor fi mai mari, cu atît condițiile de sudură vor fi mai proaste.

Întrucît la sfîrșitul închiderii contactului, viteza de deplasare a părților mobile este de obicei mare, atunci în momentul atingerii se produce inevitabil o lovitură care poate să fie însoțită de vibrații, de apariția arcului electric și de condiții favorabile pentru sudare.

Afară de aceasta, la închiderea contactelor pe scurtcircuit, funcționarea acestora depinde în mare măsură de forțele electrodinamice care iau naștere între elementele contactului și care depind de intensitatea curentului din circuit și de construcția contactului.

La deschiderea contactelor sub sarcină apare, întotdeauna, un arc electric. În cazul întreruperii curenților intenși de scurtcircuit, arcul electric poate topi materialul contactelor, provocînd uzura suprafețelor de contact.

În procesul de închidere la scurtcircuit, pot apărea forțe de respingere mari între elementele de contact.

În figura 3.6 este reprezentată schematic atingerea dintre două contacte sub formă de coloană scurtă cu diametrul B și spectrul liniilor de curent, care determină apariția unor componente ale curentului paralele cu suprafețele de contact, dar de sens contrar, condiționînd astfel apariția forțelor de respingere.

Forța electrodinamică care apare la locul de atingere a două suprafețe de contact și care tinde să le îndepărteze poate fi determinată cu ajutorul formulei [5]:

$$F = 10^{-7} i_{soc}^2 \ln \frac{B}{b}, \quad [\mathrm{N}]$$

în care: i_{soc} este amplitudinea maximă a curentului de scurtcircuit, în A;
B — raza elementului de contact;
b — raza suprafeței de conducție.

Forțele electrodinamice la scurtcircuit provoacă micșorarea presiunii contactelor, iar o presiune insuficientă poate să fie cauza desfacerii suprafețelor de contact una de cealaltă, producînd astfel un arc care topește metalul contactelor.

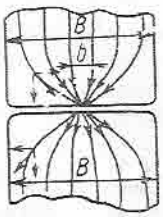


Fig. 3.6

Trebuie subliniat că topirea metalului contactelor și sudarea lor are loc, în cele mai multe cazuri, în timpul primei semiperioade a scurtcircuitului, cînd curentul de scurtcircuit are valoarea cea mai mare i_{soc}.

Evitarea sudării contactelor în exploatare, datorită efectelor termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit se poate realiza prin următoarele metode:

1. creșterea forței de apăsare pe contact;
2. compensarea forței electrodinamice de desfacere a contactului;

3. înlocuirea îmbinării de contact simple prin mai multe căi în paralel;
4. folosirea unor zăvoare electromagnetice care să creeze o forță de apăsare suplimentară, dependentă de valoarea curentului de scurtcircuit etc.

3.5. Materiale folosite la execuția contactelor

Materialele folosite la contacte influențează mult durata de serviciu și siguranța funcționării aparatelor electrice. Condițiile fundamentale pe care trebuie să le îndeplinească materialele pentru contacte sînt:

— duritatea și rezistență mecanică mare;
— conductivitate termică și electrică mare;
— rezistență la coroziune, iar stratul de oxizi — bun conductor de electricitate;
— temperaturi de topire și de vaporizare înalte;
— prelucrare mecanică ușoară;
— să nu fie scump etc.

Astăzi, nu există un metal care să satisfacă simultan toate aceste condiții, de aceea, la proiectarea contactelor se alege o soluție optimă, corespunzătoare condițiilor în care va lucra contactul.

Cuprul — pentru o rezistență mecanică destul de mare, are o rezistivitate electrică mică, din care cauză se folosește la executarea contactelor pentru curenți mari.

Prin adăugarea unei cantități de 2—8% Ag, cuprul își îmbunătățește proprietățile mecanice și se poate utiliza la contactele siguranțelor fuzibile. O îmbunătățire suplimentară a proprietăților mecanice se poate obține prin adăugarea unei cantități de 1,5% Cd pe lîngă argint.

Prin adăugarea unei cantități de 1,2 — 2% Be în cupru, se obține un aliaj care poate fi folosit în construcția resoartelor.

Aluminiul prezintă față de cupru o rezistență mecanică mai mică și o rezistivitate electrică mai mare. Folosirea aluminiului la legăturile de contact fixe este indicată doar în cazul unor curenți de scurtcircuit relativ mici.

Oțelul prezintă o rezistență mecanică mult mai mare decît cuprul, însă are o rezistivitate electrică mare. Se folosește, de exemplu, la realizarea legăturilor electrice între conductoarele de legare la pămînt și cuvele metalice ale aparatelor sau flanșelor izolatoarelor.

Argintul este un metal nobil, caracterizat printr-o rezistivitate electrică mică. În construcția contactelor electrice, se poate folosi sub formă de acoperiri galvanice și de piese sudate sau placate, atunci cînd este necesar să se asigure o rezistență de trecere la curenți mari, sau o oxidare redusă la o funcționare de lungă durată sub curent, însă cu întreruperi fără curent sau cu curent redus. Deci acoperirile și piesele sudate sau placate din Ag se pot folosi la contactele principale ale întreruptoarelor dacă există contacte de stingere a arcului, la contactele separatoarelor etc.

Prin adăugarea de Cd pînă la 37% se obține un aliaj cu o tendință de lipire mai mică și cu proprietăți față de acțiunea arcului electric, mai bune

decît ale argintului pur. Dezavantajul constă în faptul că piesele executate din Ag-Cd nu se pot lipi din cauza formării peliculei de CdO.

În aliaje cu mai mult de 30% paladiu (Pd), argintul rezistă bine la acţiunea sulfului. De asemenea, aliajul Ag-Pd posedă o duritate importantă.

Wolframul este un metal utilizat foarte mult în construcţia contactelor întreruptoarelor de înaltă tensiune datorită temperaturii sale de topire ridicată (3410°), durităţii şi rezistenţei la uzură ridicate.

Materialele contactelor întreruptoarelor trebuie să satisfacă condiţiile generale impuse contactelor, şi în primul rînd, să fie rezistente la arc şi să nu se sudeze. Plecînd de la aceste condiţii, pentru contactele întreruptoarelor, se folosesc, pe scară largă, amestecuri de materiale care nu se combină între ele (amestecuri metaloceramice). Din mulţimea de materiale metaloceramice, pentru contactele întreruptoarelor se folosesc compoziţiile din argint-wolfram, cupru-wolfram şi cupru-carbid de wolfram. Proprietăţile principale ale acestor amestecuri sînt indicate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

Proprietăţile principale ale amestecurilor metaloceramice pentru contactele întreruptoarelor

Compoziţia	Concentraţia celei de a doua componente [%]	Rezistivitatea [Ωcm]	Conductivitatea termică [W/cm · grd]	Rezistenţa la comprimare [N/mm²]	Duritatea după Brinell [N/mm²]	Densitatea [g/cm³]
Argint—wolfram	30	2,10	0,81	636	735	12,10
Argint—wolfram	50	2,46	0,74	832	1030	13,50
Argint—wolfram	60	2,82	0,65	—	1270	14,40
Argint—wolfram	75	3,45	0,55	—	2000	15,80
Argint—wolfram	80	3,68	—	—	2160	16,30
Cupru—wolfram	20	2,40	—	636	981	10,86
Cupru—wolfram	40	3,15	—	1920	1340	11,25
Cupru—wolfram	60	4,10	—	294	1570	13,50
Cupru—wolfram	80	4,90	—	—	2160	15,75
Cupru—carbid—wolfram	80	10,42	—	—	5200	12,80

Materialele metaloceramice, după cum rezultă din tabelul 3.8, au conductivitatea electrică şi rezistenţa la arc mari.

Amestecurile metaloceramice de argint cu wolfram sînt cele mai indicate pentru contactele care lucrează în aer, iar cele de cupru — wolfram sau cupru — molibden, pentru contactele care lucrează în ulei.

Contactele întreruptoarelor nu se confecţionează în întregime din materiale metaloceramice, ci cu aceste materiale se formează suprafeţele de lucru ale contactelor mobile şi fixe în locurile de ardere posibilă a arcului.

Aplicarea pe suprafeţele contactelor a unor plăcuţe din materiale metaloceramice se face prin lipire sau sudare. Contactele de W se obţin folosind o serie de procedee tehnologice metalurgice dificile. La proiectarea întreruptoarelor, alegerea tipului şi a construcţiei contactelor se face, de obicei, în baza datelor experimentale ale construcţiilor existente. Într-o serie de

cazuri, construcţia contactelor este determinată de construcţia dispozitivului de stingere a arcului, de construcţia şi schema cinematică a mecanismului de acţionare etc.

Asupra alegerii construcţiei contactelor întreruptoarelor au influenţă valorile curentului nominal şi ale curenţilor de scurtcircuit, viteza, frecvenţa şi durata deschiderii şi închiderii, mediul ambiant al contactelor şi altele. În cazul curenţilor de scurtcircuit mari (de ordinul a cîtorva mii de amperi), creşterea rezistenţei de trecere a contactelor datorită uzurii suprafeţelor de contact de către arc duce la o încălzire nepermisă a contactelor. În aceste cazuri se utilizează contacte alcătuite din contacte principale şi contacte de stingere a arcului. În prezenţa contactelor de stingere a arcului, care închid circuitul înaintea contactelor principale şi deschid circuitul după deschiderea contactelor principale, arcul apare între contactele de stingere a arcului, iar contactele principale nu sînt supuse acţiunii arcului.

Întreţinerea contactelor electrice are o deosebită importanţă în buna funcţionare a echipamentelor şi instalaţiilor electrice. Dacă nu s-ar recondiţiona sau înlocui piesele de contact uzate s-ar ajunge la întreruperi nedorite ale circuitelor, la incendii prin aprinderea materialelor izolante combustibile din vecinătate, la sudarea contactelor etc.

Piesele de contact se verifică cu ocazia reviziei aparatului sau în cazurile în care se constată vibraţii, încălziri excesive, sudare etc.

Verificarea constă din măsurarea forţei de apăsare (cu ajutorul unui dinamometru), măsurarea cursei de contact şi aprecierea stării de uzură.

Apariţia unor zone înnegrite sau oxidate, a unor puncte de sudură etc. indică o funcţionare defectuoasă a legăturii de contact. Limitele admise de uzură, precum şi durata de viaţă a contactelor aparatelor de comutaţie (exprimată prin numărul de manevre sub o anumită sarcină, pînă la înlocuirea lor) sînt indicate de constructorii de aparate electrice.

Piesele de contact se curăţă periodic de oxizi şi se îndepărtează punctele de metal topit cu ajutorul unor pile fine (nu se folosesc hîrtie sau pînză abrazivă) şi apoi se ung cu o vaselină neutră (pentru protecţie). Dacă uzura este pronunţată se confecţionează noi piese de contact sau se înlocuiesc cu piese originale.

Nu este indicată recondiţionarea improvizată a resorturilor de contact slăbite prin alungirea sau scurtarea lor, ci se recomandă executarea unor resorturi noi.

Execuţia pieselor şi a legăturilor de contact în atelierele de reparaţii se face numai în mod excepţional.

3.6. Tipuri constructive de contacte

Legături fixe ale barelor plate şi rotunde. Dintre legăturile cele mai răspîndite sînt legăturile barelor plate, înnădirile cu cleme conice pentru conductoare rotunde şi legăturile cablurilor multifilare flexibile. În figura 3.7 sînt arătate diferite moduri de înnădire a barelor plate.

În figura 3.7, *a* şi *b* sînt arătate înnădiri cu ajutorul buloanelor sau şuruburilor trecute prin găuri executate în bare. Numărul lor depinde de dimen-

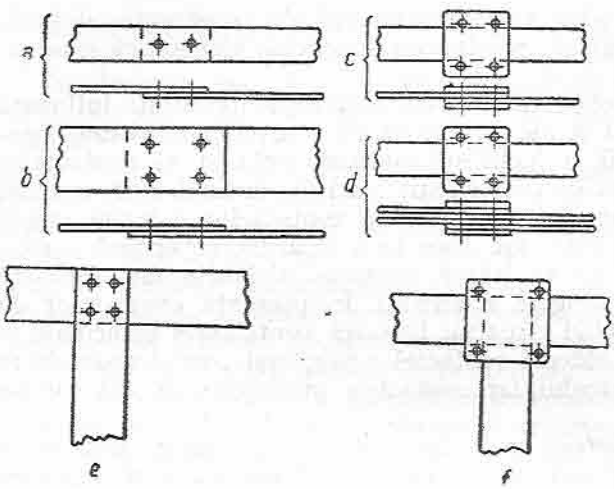


Fig. 3.7

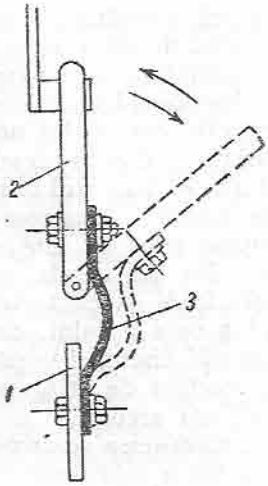


Fig. 3.8

siunile barei. Această execuţie cere ajustaje bune şi găurirea precisă a barei, mai ales cînd se face legătura unui pachet de bare.

În figura 3.7, *c* şi *d* este arătată înnădirea barelor cu eclise şi şuruburi de strîngere (de obicei patru). În acest caz este nevoie să se găurească barele, ceea ce simplifică montajul şi micşorează costul execuţiei. În mod analog se execută derivaţiile plate cu ajutorul buloanelor sau şuruburilor care trec prin bare sau cu ajutorul ecliselor (fig. 3.7, *e* şi 3.7, *f*).

Contacte fixe de legătură ale elementelor mobile. Legături flexibile. Cea mai simplă legătură de acest fel este aceea cu ajutorul conductoarelor flexibile. Există foarte multe tipuri de astfel de legături în funcţie de destinaţia lor. Legătura flexibilă însăşi se execută din benzi subţiri de cupru sau din conductoare funie flexibile. La executarea legăturilor flexibile, trebuie avută grija ca ele să nu capete îndoiri mari, întrucît în caz contrar nu vor dura mult; în figura 3.8 este exemplificată o legătură flexibilă, în care curentul trece de la elementul fix *1* la elementul mobil *2*, prin legătura flexibilă *3*. Legăturile flexibile se folosesc de asemenea la executarea compensatorilor de dilatare ai barelor.

Legături alunecătoare. Deseori pentru transmiterea curentului de la un element la celălalt se folosesc legături alunecătoare. În contactul alunecător arătat în figura 3.9, curentul din coloanele fixe *2* trece în tija mobilă de contact în formă de cuţit *1*, prin contactele deget *3*. Ultimele sînt presate de tija *1* şi de coloanele *2*, cu ajutorul resorturilor *4*. Numărul de contacte deget depinde de intensitatea curentului. Acest contact nu are nici o legătură flexibilă şi de aceea prezintă o siguranţă mare. Un alt tip de contact alunecător cu tija rotundă mobilă este contactul rozetă din figura 3.10; aici, de asemenea, lipsesc legăturile flexibile. De la inelul fix *4*, curentul trece la tija rotundă *3* prin degetele *1*. Fiecare din aceste degete este legat de contactul fix *6* prin piesele *5* şi este presat de elementele *3* şi *4* cu ajutorul resortului *2*. Degetele *1* se execută din cupru profilat, special laminat şi nu cer multă prelucrare. Contactele rozetă au o rezistenţă electrică de trecere mai mică decît rezistenţa contactelor frontale şi prezintă o siguranţă

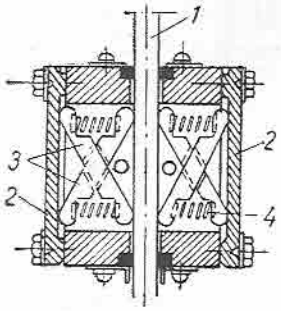


Fig. 3.9

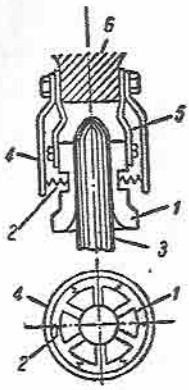


Fig. 3.10

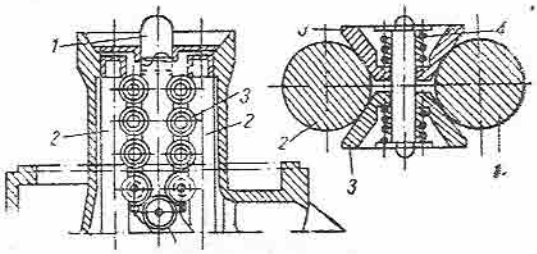


Fig. 3.11

de funcţionare mai mare. Ele se folosesc în mare măsură la aparatele de întrerupere de înaltă tensiune drept contacte principale şi drept contacte de stingere.

Dezavantajul principal al contactelor alunecătoare este coeficientul mare de frecare al acestor contacte, ceea ce duce la dispozitive de acţionare mai grele.

Legături cu role (contacte rulante). Pentru micşorarea frecării în aparate, cînd este necesar să se treacă curentul de la elementele fixe la elementele mobile, se folosesc uneori legăturile cu role. În figura 3.11 care arată o legătură de contact cu role, curentul trece de la două coloane rotunde fixe *2*, la bara rotundă mobilă *1*, prin şase role *3*. În cazul dat se obţine o schemă complet echilibrată, întrucît bara *1* este presată simetric de către role. Rolele au forma de con, sînt fixate cîte două pe o axă şi sînt presate către coloanele *2* şi barele mobile *1*, cu ajutorul resorturilor *4*.

Este interesant de precizat că la parcurgerea drumului A de către bară, axele rolelor se deplasează pe verticală numai cu $A/2$, dacă diametrele coloanelor *2* şi diametrul barei *1* sînt aceleaşi. Contactul cu role are o stabilitate mare şi prezintă frecări mici. Neajunsul contactului cu role este execuţia lui relativ complicată.

Contacte mobile care se deschid şi se închid. Aceste contacte sînt cele mai importante elemente ale aparatelor de întrerupere de înaltă şi joasă tensiune şi după construcţie pot fi împărţite în următoarele grupe; contacte de tăiere, contacte frontale, contacte deget, contacte perie, contacte rozetă.

a. Contactele de tăiere se folosesc în special la separatoare şi întreruptoare cu pîrgie. Contactele de tăiere, la rîndul lor, pot fi împărţite în contacte plate şi contacte liniare.

Diferite forme ale contactelor de tăiere plate cu fălci elastice sînt arătate în figura 3.12, *a, b, c, d, e, f*. Forţa de presiune este aici dată de elasticitatea fălcilor laterale, prin desfacerea lor de către cuţitul care intră. Forţa de presiune la contactele plate poate fi creată cu ajutorul unor resoarte speciale de oţel (figura 3.12, *d*).

Cel mai tipic contact liniar este dat în figura 3.13. El se compune dintr-o bară de cupru argintată *1*, pe care intră din ambele părţi barele *2* în formă

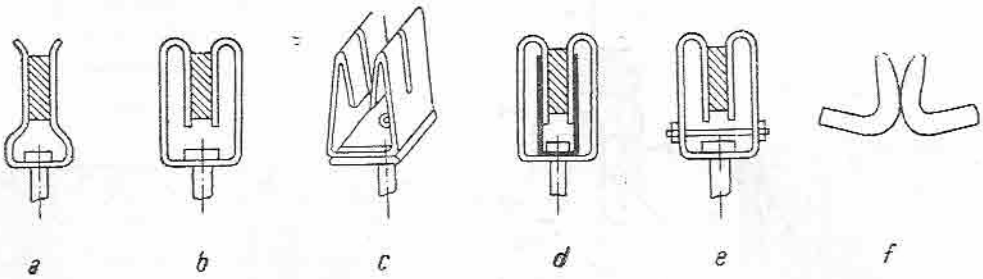


Fig. 3.12

de cuţit. Contactul liniar se formează pe muchia subţire a barei *1*. Presarea în contact se realizează cu ajutorul resortului *3*, strîns cu ajutorul şurubului *4*. În comparaţie cu contactul plat, contactul liniar are avantajul că se curăţă bine de la sine, la închidere şi deschidere. La intrarea cuţitului, contactul liniar asigură ştergerea suprafeţei barelor plate şi prin aceasta o bună atingere. Din punct de vedere tehnologic, contactul liniar este foarte simplu şi a dat rezultate bune în exploatare.

b. Contacte frontale. Cele mai multe se folosesc la întreruptoarele de înaltă tensiune cu mare putere de rupere. Ele sînt de mai multe tipuri şi se execută în formă de bare masive sau tubulare. Contactele tubulare frontale se folosesc în special la întreruptoarele cu aer comprimat şi la întreruptoarele cu ulei. În figura 3.14, *a* şi *b* este arătat un contact frontal din bare masive şi din bare tubulare. Contactele frontale, deseori, se folosesc în acelaşi timp drept contacte principale şi de stingere. Experienţa a arătat că în ulei, cu toate că se constată o uzură oarecare a suprafeţei de contact, se păstrează o rezistenţă de trecere mică a contactelor frontale datorită condiţiilor care împiedică formarea stratului de oxid.

În figura 3.14, *c* este arătat un contact frontal format dintr-o piesă masivă fixă *2* şi o bară tubulară mobilă *1*, contact care se foloseşte, în general, la întreruptoarele în ulei. Contactul *1* este legat cu părţile conductoare mobile ale aparatului, iar contactul *2*—cu părţile conductoare fixe *3* ale aparatului. Forţa de presiune între contactele *1* şi *2* se obţine cu ajutorul resortului *4*.

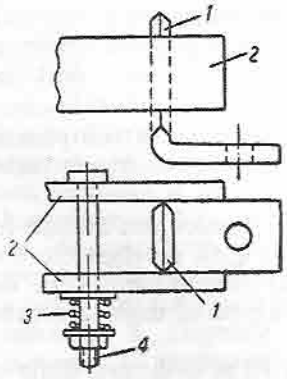


Fig. 3.13

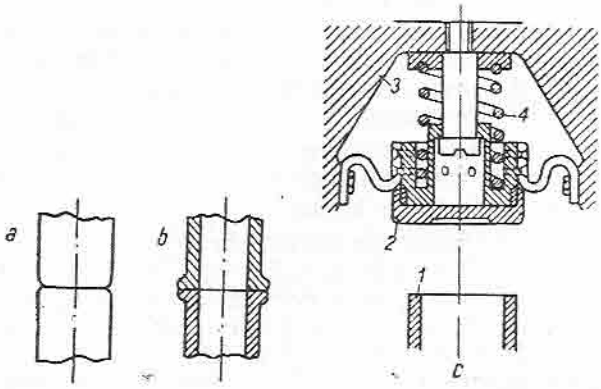


Fig. 3.14

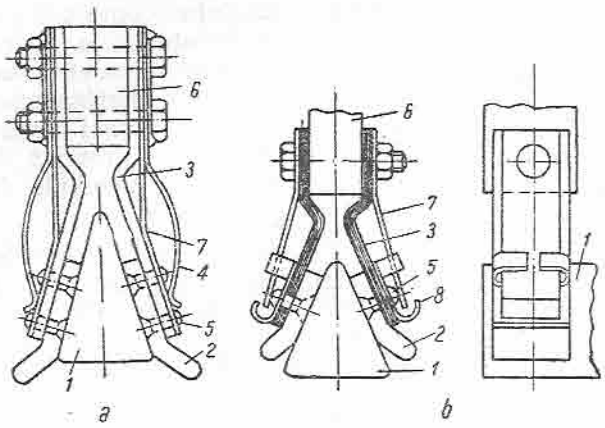


Fig. 3.15

La contactele tubulare după puţin timp de la apariţia arcului electric punctele sale de sprijin sînt deplasate de curentul de gaz, de pe suprafaţa frontală a tubului pe suprafaţa sa interioară. Datorită acestui fapt, suprafaţa frontală a tubului se uzează foarte puţin. La întreruptoarele cu aer comprimat partea frontală a tubului trebuie argintată pentru asigurarea unui contact bun ; în caz contrar rezistenţa se va mări mult datorită oxidării contactului.

c. Contacte deget. Aceste contacte se folosesc azi mai ales la întreruptoarele cu ulei. Contactele deget sînt arătate în figura 3.15, *a* şi *b*. În figura 3.15, *a* cuţitul *1* al întreruptorului intră între două rînduri de degete *2* care sînt presate de cuţit cu ajutorul resorturilor *7* şi *4*.

De fiecare deget se prinde prin nituri sau prin şuruburi legătura flexibilă *3* formată dintr-un pachet de lame de cupru. Legătura flexibilă uneşte degetul *2* cu partea conductoare fixă *6*. Datorită legăturii rigide dintre degetul *2*, lamele *3* şi resortul *7*, contactul deget nu poate să se aşeze liber cu toată suprafaţa sa pe suprafaţa cuţitului. La contactul din figura 3. 15, *b* acest neajuns este înlăturat prin faptul că resortul *7* nu are legătură rigidă cu degetul *2* şi presează pe deget prin intermediul piesei emisferice *5*, dînd astfel posibilitatea degetului să se aşeze liber pe cuţitul *1*. Degetul se îmbină prin nituire cu legătura flexibilă *3* şi cu brida *8*, care are un cîrlig şi două aripi. Brida limitează deplasarea degetului în sus şi lateral dar nu-l împiedică să se aşeze liber pe cuţit.

d. Contactele perie (fig. 3.16). În prezent se folosesc mai rar decît înainte. Contactul perie asigură realizarea unui mare număr de puncte de atingere, datorită pachetului de benzi de cupru de grosimi 0,1... 0,5 mm. Peste benzile subţiri *1* se montează o placă mai groasă *3* din cupru, bronz sau oţel. Peria este presată pe suprafaţa *2—2* a cuţitului *2*. Atunci cînd contactele sînt desfăcute, suprafaţa periei face un unghi δ, cu suprafaţa 2—2. Pentru a avea o atingere completă trebuie ca peria să fie presată cu o forţă *F*. Dar contactele perie nu prezintă suficientă siguranţă deoarece la încălziri puternice, provocate mai ales de trecerea curenţilor de scurtcircuit, lamele de cupru deseori se îndoaie, ceea ce măreşte brusc rezistenţa de tre-

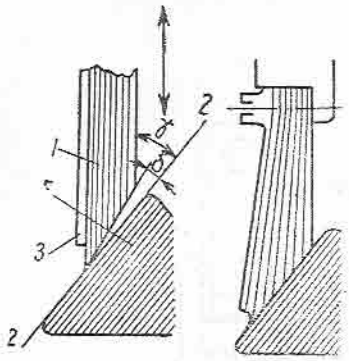


Fig. 3.16

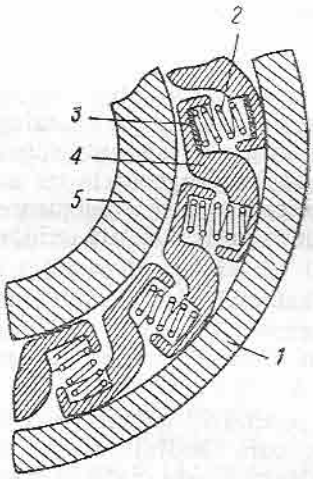


Fig. 3.17

cere a contactului. Contactele perie în prezent se mai întrebuinţează la aparatele de joasă tensiune (la întreruptoarele automate cu aer). Dacă aparatul este destinat să întrerupă circuitul sub curent, atunci contactul perie trebuie neapărat să fie protejat de un contact de stingere, care se deschide după deschiderea contactului perie.

e. Contactele rozetă. Contactele rozetă au o largă folosire la construcţia întreruptoarelor. Ele se compun din mai multe segmente, care formează împreună rozeta şi dintr-o piesă de contact în formă de tijă cilindrică, spre care sînt presate segmentele prin resorturi. De obicei tija este contactul mobil, iar segmentele formează contactul fix. Un astfel de contact rozetă a fost arătat în figura 3.10.

În funcţie de profilul segmentelor, contactele rozetă se pot împărţi în: contacte cu segmente trapezoidale, contacte cu segmente în forma de *Z*, contacte cu segmente plate.

La contactele cu segmente trapezoidale, trecerea curentului de la segmente la corp se face prin legături flexibile, iar la contactele cu segmente în forma de *Z* şi cu segmente plate — fără legături flexibile.

În figura 3.17 sînt arătate detaliile unui contact rozetă; notaţiile folosite au următoarele semnificaţii: *1*—corp conductor al contactului tulipă; *2*—resort; *3*—plăcuţă izolantă; *4*—contact fix şi *5*—contact mobil.

Capitolul IV

APARATE DE COMUTAȚIE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

4.1. Întreruptoare de înaltă tensiune

4.1.1. Considerații generale

Dintre aparatele de comutație întreruptorul de înaltă tensiune este cel mai important aparat, atît din punct de vedere constructiv și funcțional, cît și din punct de vedere al costului. Întreruptorul de înaltă tensiune se poate defini ca un aparat destinat închiderii și deschiderii circuitelor electrice cînd acestea sînt parcurse, fie de curenți normali de lucru, fie de curenți anormali cum sînt cei de suprasarcină sau de scurtcircuit.

Funcțiunea cea mai importantă a unui întreruptor (capitolul se referă numai la aparate de înaltă tensiune), deși nu cea mai frecventă, este deschiderea automată a circuitelor electrice în momentul apariției scurtcircuitelor. Importanța acestei funcțiuni constă în faptul că, în acest mod, se asigură întreruperea porțiunii de rețea defectă într-un timp cît mai scurt, prevenindu-se avarierea și distrugerea echipamentului electric datorită curenților de scurtcircuit. Și întrucît această funcțiune solicită cel mai mult întreruptorul, constructiv, el se realizează și se dimensionează astfel ca să o poată îndeplini cît mai bine și cît mai rapid.

Întreruperea curenților alternativi poate fi realizată principial în două moduri:

a) întrerupere prin introducerea în serie cu circuitul a unei rezistențe crescînd progresiv (sau mărirea rezistenței circuitului) pînă la valoarea care anulează curentul, metodă folosită și la întreruperea circuitelor de curent continuu;

b) întrerupere folosind momentul trecerii naturale a curentului prin zero, prin acționare în sensul măririi rigidității dielectrice a spațiului dintre contactele deschise, pentru a împiedica reaprinderea arcului electric.

Marea majoritate a întreruptoarelor de înaltă tensiune folosesc pentru întreruperea curentului cea de-a doua metodă. Problema principală a acestor întreruptoare o reprezintă stingerea arcului electric ce se formează între contacte, pe cît posibil, la prima trecere a curentului prin zero.

Într-adevăr, dacă se realizează condiții ideale de întrerupere, adică dacă se întrerupe circuitul în momentul trecerii naturale a curentului prin zero, energia produsă de arc este teoretic nulă, în timp ce în celelalte cazuri ea poate să atingă valori extrem de mari. Progresele considerabile obținute în ultimii ani în construcția întreruptoarelor pentru tensiuni și puteri foarte mari se datoresc, în primul rînd, faptului că a fost posibil să se reducă mult energia dezvoltată de arc la întreruperea curentului, micșorînd durata lui și menținînd tensiunea sa cît mai redusă posibil pînă în momentul stingerii

sale. Întreruperea unui curent şi stingerea arcului în curent alternativ se realizează prin formarea unei rigidităţi dielectrice suficiente a spaţiului dintre contacte, imediate după deschiderea lor, pentru a împiedica reaprinderea arcului electric după trecerea curentului prin zero. La toate întreruptoarele moderne, această rigiditate dielectrică se obţine provocînd formarea între contacte a unui violent curent de gaze: vapori de ulei, aer sau alte gaze. Modul de formare a acestui curent de gaze depinde de principiul de funcţionare şi de mediul în care are loc stingerea arcului.

O clasificare a întreruptoarelor după mediul de stingere poate fi următoarea:

— întreruptoare cu mediu de stingere gazos: cu aer comprimat, cu hexafluorură de sulf;
— întreruptoare cu mediu de stingere lichid: cu ulei, cu apă şi glicol;
— întreruptoare cu mediu de stingere solid: cu material solid gazogenerator;
— întreruptoare cu vid.

La unele tipuri de întreruptoare denumite cu autosuflaj (întreruptoare cu ulei, cu autogenerare de gaze etc.) gazele necesare deionizării arcului sînt produse de arcul electric, deci cantitatea de gaze dezvoltate este dependentă de intensitatea curentului care trece prin arc.

Vitezele de scurgere ale acestor gaze sînt determinate de legile mecanicii fluidelor, dar nu sînt singurele care influenţează regenerarea rigidităţii dielectrice a spaţiului dintre contacte. Într-adevăr, şi alţi factori cum ar fi: natura gazului, presiunea lui, drumul parcurs de arcul electric, forma contactelor, numărul de locuri de rupere etc. pot juca un rol important în această privinţă.

Aceste tipuri de întreruptoare prezintă dezavantajul că, în anumite situaţii, puţin frecvente, funcţionarea lor nu este sigură. De exemplu, în timpul întreruperii unui curent de mică intensitate din anumite motive (scurtcircuit, suprasarcină etc.), poate apare o creştere a curentului electric prin întreruptor.

O astfel de creştere bruscă a curentului în timpul operaţiei de declanşare a unui întreruptor, timp în care presiunea gazului care provoacă stingerea arcului este produsă de arcul însuşi, este periculoasă, întrucît coloana arcului corespunzătoare curentului iniţial slab prezintă o rezistenţă mare pentru curentul de scurtcircuit, iar energia dezvoltată de arcul electric capătă o valoare excesivă şi poate provoca chiar explozia camerei de stingere.

La întreruptoarele cu aer comprimat, cantitatea de aer necesară stingerii arcului electric provine de la o sursă exterioară, astfel că întreruptoarele au aceeaşi putere de rupere, în orice moment, pentru curenţi de orice intensitate.

Din această cauză, la aceste întreruptoare la întreruperea curenţilor mici stingerea arcului electric poate avea loc înainte de trecerea naturală a curentului prin zero, ceea ce dă naştere la supratensiuni.

În cele ce urmează se fac cîteva clasificări ale întreruptoarelor în funcţie de diferite criterii.

După felul instalaţiei:

— întreruptoare pentru instalaţii interioare;
— întreruptoare pentru instalaţii exterioare;

După nivelul izolației întreruptoarelor de exterior:
— întreruptoare cu izolație normală;
— întreruptoare cu izolație întărită pentru regiuni cu poluare intensă.
După dispozitivul de acționare:
— întreruptoare cu dispozitiv de acționare comun pentru toate trei faze;
— întreruptoare cu dispozitiv de acționare separat pentru fiecare fază.
Dispozitivul de acționare poate fi executat sub formă de mecanism separat sau sub formă de mecanism fixat în întreruptor și formînd un întreg cu acesta.

4.1.2. Caracteristicele întreruptoarelor

Principalele caracteristici ale unui întreruptor, stabilite cu ajutorul standardelor și recomandărilor CEI, sînt următoarele.

a. Tensiunea nominală este valoarea standardizată cea mai mare a tensiunii la care este destinat să lucreze întreruptorul un timp îndelungat.

b. Nivelul de izolație nominal sau *nivelul de ținere nominal* este caracterizat prin valorile tensiunilor de ținere nominale la impuls și la frecvență industrială.

c. Frecvența nominală a întreruptorului este identică cu frecvența nominală a rețelei în care va funcționa întreruptorul. La noi în țară această frecvență este 50 Hz.

d. Curentul nominal este valoarea standardizată a curentului sub care întreruptorul poate funcționa în regim permanent fără ca limitele admisibile de încălzire să fie depășite (vezi tabelul 1.2).

e. Capacitatea de rupere nominală este cea mai importantă caracteristică a întreruptorului și se definește prin cel mai mare curent de scurtcircuit pe care întreruptorul trebuie să-l întrerupă în condiții specificate privind tensiunea de restabilire și tensiunea tranzitorie de restabilire. Acest curent se determină cu ajutorul oscilogramei curentului de scurtcircuit în momentul separării contactelor și este compus dintr-o componentă periodică notată cu I_r și o componentă aperiodică care, de obicei, se exprimă în procente. De regulă, aprecierea capacității de rupere se face cu ajutorul lui I_r — valoarea componentei periodice a curentului de scurtcircuit întrerupt — mărimea componentei aperiodice prezumîndu-se în funcție de timpul de deschidere.

Trebuie avut în vedere faptul că acest curent de rupere nu rămîne același cînd întreruptorul funcționează la tensiuni diferite de tensiunea lui nominală. Ca urmare, se poate defini drept *curent de rupere nominal* I_{rn} — curentul de rupere cînd întreruptorul funcționează la tensiunea lui nominală.

Se mai poate caracteriza capacitatea de rupere a unui întreruptor și prin puterea de rupere definită cu relația:

$$S_r = \sqrt{3} I_r U_n,$$

în care U_n este tensiunea nominală a instalației în care este instalat întreruptorul.

Cînd întreruptorul funcționează la tensiunea lui nominală se poate defini *puterea de rupere nominală*:

$$S_{rn} = \sqrt{3} I_{rn} U_n.$$

f. Capacitatea de conectare este definită de cel mai mare curent de scurt-circuit care poate fi conectat de întreruptor fără nici o avarie care să împiedice funcţionarea lui ulterioară. Acest curent este chiar curentul de scurt-circuit de şoc.

g. Curentul de stabilitate termică este curentul pe care aparatul îl poate suporta fără a depăşi limitele de încălzire un anumit timp (1 s, 4 s etc.) stabilit de constructor.

h. Timpul propriu de deschidere t_{pd} al întreruptorului cu dispozitiv de acţionare este intervalul de timp care trece de la închiderea circuitului bobinei de declanşare a dispozitivului de acţionare (de la darea impulsului de declanşare) pînă la începerea desfacerii contactelor de stingere a arcului ale întreruptorului.

i. Timpul total de deschidere t_{td} al întreruptorului cu dispozitiv de acţionare este intervalul de timp care trece de la închiderea circuitului bobinei de declanşare a dispozitivului de acţionare pînă la stingerea completă a arcului în toate fazele. În acest caz: $t_{td} = t_{pd} + t_a$, iar t_a este durata de ardere a arcului în întreruptor.

j. Timpul de închidere al unui întreruptor este intervalul de timp de la aplicarea impulsului pentru închidere pînă în momentul atingerii contactelor.

4.1.3. Condiţiile impuse întreruptoarelor

Condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească întreruptoarele de înaltă tensiune se pot rezuma după cum urmează.

a. Putere de rupere cît mai mare, care astăzi pentru tensiunile de 110—220 kV ajung pînă la 6000—12 000 MVA şi mai mult, pentru 400 kV—20 000 MVA, iar pentru 765 kV—60 000 MVA.

b. Întrerupere sigură a curentului în domeniul de la cîţiva zeci de amperi pînă la valoarea nominală a curentului, precum şi a curentului de scurt-circuit.

c. Durată de întrerupere cît mai scurtă posibilă. O durată lungă de întrerupere poate să aibă consecinţe grave în alimentarea consumatorilor cu energie electrică.

d. Posibilitatea reanclanşării automate rapide mono şi trifazate. Statisticile de exploatare arată că un procent important (circa 90 %) din totalul defectelor sînt trecătoare (cauza defectului dispare după întrerupere şi reţeaua poate fi pusă din nou în funcţiune). Dacă se reanclanşează linia imediat după stingerea arcului şi deionizarea spaţiului de arc, se pot evita un mare număr de întreruperi în alimentarea consumatorilor. Pentru obţinerea acestui rezultat este însă necesar ca durata de întrerupere să fie atît de scurtă, încît să nu apară nici o întîrziere apreciabilă în funcţionarea sincronă a reţelei, în timpul acestei întreruperi momentane.

e. Verificare şi revizie uşoară a contactelor.

f. Siguranţă împotriva exploziilor şi incendiului.

g. Transport fără dificultăţi şi siguranţă în exploatare.

h. Pentru valori ale tensiunii de la tensiunea de restabilire pînă la tensiunea nominală, în condiţiile cele mai dure din punct de vedere al vitezelor de restabilire posibile în exploatare, pentru valorile curentului de între-

rupere pînă la valori egale cu curentul de rupere, întreruptorul trebuie să suporte ciclul de manevre:

$$D - 180 - ID - 180 - ID,$$

unde: D este operaţia declanşării automate de către întreruptor a curentului de scurtcircuit (din poziţia anclanşată) în cazul protecţiei prin relee fără temporizare;

I — operaţia de anclanşare;

ID — operaţia anclanşării pe scurtcircuit din poziţia declanşată şi, imediat după anclanşare (fără timp de întîrziere) operaţia de declanşare;

180 — intervalul de timp, în secunde, între operaţiile succesive.

Întreruptoarele destinate pentru funcţionarea cu reanclanşare automată sînt supuse la următoarele cicluri:

1) $ID-0-ID$;

2) $ID-0-ID-15-ID$;

3) $ID-0-ID-15-ID-60-ID$.

În aceste cazuri, trebuie să se precizeze puterile de rupere pe care le poate asigura întreruptorul la ciclurile doi, trei şi patru, dacă capacitatea lor de rupere se micşorează din diferite cauze (micşorarea presiunii, camera de stingere neumplută complet cu ulei etc.).

La aceste încercări întreruptorul nu trebuie să prezinte nici o avarie care să împiedice funcţionarea ulterioară.

i. Condiţii privind economicitatea întreruptorului. Economicitatea întreruptorului se caracterizează [2] prin diferiţi parametrii cum sînt: greutatea materialelor consumate pentru realizarea unui MVA putere de rupere, consumul specific de materiale neferoase şi de materiale izolante pentru realizarea unui MVA putere de rupere şi a unui kV tensiune de ţinere, costul realizării unui MVA putere de rupere etc.

La întreruptoarele moderne, consumul de materiale necesar pentru realizarea unui MVA putere de rupere este subunitar.

Condiţii foarte severe se impun astăzi, în privinţa gabaritului întreruptorului ca volum şi ca suprafaţă ocupată, atît pentru cele de interior cît şi pentru cele de exterior. Această caracteristică se apreciază respectiv în m^3/MVA şi m^2/MVA.

4.1.4. Tipuri constructive

Întrucît tipul constructiv al unui întreruptor este dat, în principal, de mediul şi principiul de stingere a arcului, clasificarea întreruptoarelor după mediul de stingere făcută în paragraful 4.1.1 poate deveni o clasificare a principalelor tipuri constructive de întreruptoare astfel:

— întreruptoare cu ulei, care la rîndul lor se împart în întreruptoare cu ulei mult şi întreruptoare cu ulei puţin;

— întreruptoare cu apă în amestec cu glicerină şi alcool;

— întreruptoare cu aer comprimat;
— întreruptoare cu hexafluorură de sulf (SF_6);
— întreruptoare cu autogenerare de gaze la care se folosesc pentru stingerea arcului electric gazele generate de pereții camerei de stingere (executată din material gazogenerator) sub acțiunea arcului electric;
— întreruptoare cu vid;
— întreruptoare cu suflaj magnetic la care arcul electric este introdus prin suflaj magnetic în camera de stingere.

În continuare, în acest paragraf, vor fi tratate mai detaliat cele mai importante tipuri constructive de întreruptoare.

A. Întreruptoare cu ulei

Așa cum s-a arătat mai sus există două tipuri constructive de întreruptoare cu ulei: cu volum mare de ulei, la care uleiul servește atît ca mediu de stingere cît și ca izolant, numite *întreruptoare cu ulei mult* și cu volum mic de ulei, la care uleiul servește numai la stingerea arcului electric, numite *întreruptoare cu ulei puțin*.

Întreruptoarele cu ulei mult se realizează la rîndul lor cu sau fără camere de stingere (figura 4.1).

Pînă la tensiuni de 20 kV și puteri de rupere de circa 100 MVA întreruptoarele cu ulei mult se execută fără camere de stingere (figura 4.1, *a*). Arcul electric care se formează la desfacerea contactelor este un arc liber care se dezvoltă în masa de ulei. Întreruptorul are două perechi de contacte pe fază, adică două ruperi pe fază.

Elementele principale ale întreruptorului cu ulei mult fără camere de stingere (figura 4.1,*a*) sînt contactele fixe *1*, traversa cu contactele mobile *2*, cuva de oțel *3* cu capacul *4*, izolatoarele de trecere *5* cu bornele conductoare *6*, ștanga izolantă *7* cu resortul de declanșare *8* și mecanismul de acționare *9—12*.

Cuva *3* a întreruptorului are secțiunea transversală circulară, ovală, eliptică și, mai rar, dreptunghiulară.

Cuva se umple cu ulei de transformator *13* pînă la un anumit nivel. Pe capacul *4* al cuvei se fixează, pentru fiecare fază, două izolatoare de trecere *5*. La capetele de jos ale izolatoarelor de trecere, care sînt cufundate în ulei, se fixează contactele fixe *1*. Deoarece distanțele electrice în ulei se admit a fi mai mici decît în aer, izolatoarele de trecere se fixează sub un unghi de 5 ... 15° față de axa verticală a întreruptorului. Traversa cu cele două contacte mobile *2* este legată prin intermediul unei tije izolante *7* cu mecanismul *9—12*, care transformă mișcarea de rotație a arborelui întreruptorului într-o mișcare rectilinie a contactelor mobile.

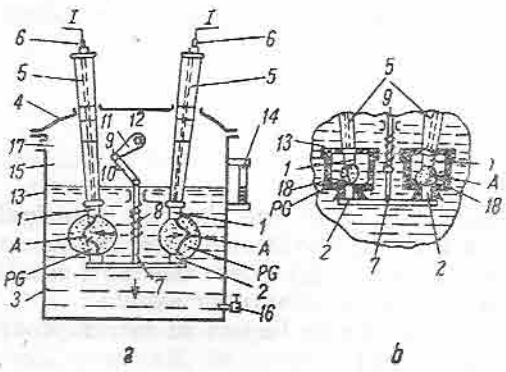


Fig. 4.1

Închiderea şi deschiderea contactelor se realizează cu ajutorul dispozitivului de acţionare a întreruptorului (manuală, electrică etc.) nereprezentat pe figură.

La anclanşare, dispozitivul de acţionare roteşte arborele întreruptorului în sensul orar, astfel încît tija cu contactele mobile *2* se deplasează în sus şi circuitul se închide, comprimîndu-se în acelaşi timp resortul de declanşare *8*. Întreruptorul se menţine în stare închisă cu ajutorul unui zăvor, care se află în mecanismul de acţionare.

Întreruptorul mai are un indicator al nivelului uleiului *14*, un robinet de scurgere a uleiului *16*, dispozitivul pentru umplerea cuvei cu ulei, pentru luarea probei de ulei etc. În cazul cantităţii mari de ulei (peste 300 kg) se prevede un dispozitiv pentru completarea şi filtrarea uleiului în timpul exploatării, fără întreruperea tensiunii.

În cuva întreruptorului, între suprafaţa uleiului şi capac se lasă un spaţiu cu aer *15* (pernă amortizoare) care comunică cu atmosfera exterioară prin tubul de evacuare a gazelor *17*. Prin aceasta se evită explozia întreruptorului şi se micşorează presiunea transmisă pereţilor şi fundului cuvei, presiune cauzată de generarea gazelor prin descompunerea uleiului de către arcul electric.

Pe capacul cuvei este montat evacuatorul gazelor. El este executat sub forma unui tub cotit, ale cărui capete sînt îndreptate în jos. Într-unul din coturi, tubul separator de ulei este umplut cu bile de porţelan sau pietriş, care preîntîmpină azvîrlirea uleiului din cuvă şi favorizează răcirea jetului de gaze evacuate.

Întreruptorul este prevăzut cu o supapă de siguranţă. Ea este astupată cu un capac şi are o membrană care, în caz de avarie şi anume la apariţia în interiorul cuvei a unei presiuni mai mari decît cea admisibilă, este aruncată rapid în afară, deschizînd o ieşire largă gazelor şi uleiului prin tubul cotit în exterior.

Energia degajată în arcul întreruptoarelor cu ulei se consumă prin:

1. descompunerea şi deplasarea uleiului, aproximativ 28%;
2. încălzirea şi vaporizarea uleiului, aproximativ 9%;
3. încălzirea şi dilatarea gazelor şi a vaporilor, aproximativ 40%;
4. încălzirea contactelor, aproximativ 7%;
5. transmiterea de căldură prin radiaţie, aproximativ 11%;
6. deformarea mecanică a cuvei, aproximativ 5%.

Prin urmare, procesul de descompunere a uleiului, însoţit de formarea amestecului de vapori şi gaze, este legat de absorbirea unei cantităţi mari de energie de la arc, ceea ce influenţează, de asemenea, favorabil, asupra stingerii arcului.

În cazul ruperii simple a arcului în ulei, acţiunea uleiului asupra arcului este relativ slabă, deoarece arcul este înconjurat de punga *PG* umplută cu vaporii de ulei şi gaz, pungă care se află într-o stare de repaus relativ.

La întreruptoarele cu ulei mult fără camere de stingere gradientul tensiunii arcului fiind redus, pentru întreruperea circuitului este necesară o deplasare mare a contactelor. Timpul de stingere este destul de mare pentru curenţii mici şi mijlocii şi mai mic pentru curenţi mari.

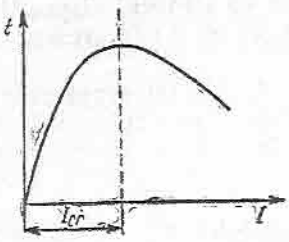


Fig. 4.2

În figura 4.2 este arătată dependența timpului de ardere a arcului de curentul ce se întrerupe. La început, acest timp crește, dar scade din nou după atingerea unei valori maxime, numită intensitate critică I_{cr}.

În majoritatea cazurilor și în special pentru tensiuni și puteri de rupere mari, întreruptoarele cu ulei mult se realizează cu stingerea forțată a arcului, cu ajutorul unor dispozitive de stingere, denumite *camere de stingere*. Aceste dispozitive accelerează stingerea arcului și măresc puterea de rupere a întreruptorului.

Dispozitivele de stingere a arcului se montează în cuvele metalice legate la pămînt și umplute cu ulei de transformator; în acest caz, uleiul se folosește ca mediu în care arde și se stinge arcul și, în același timp, ca dielectric care izolează elementele conductoare interioare ale întreruptorului între ele, față de cuvă și față de alte elemente legate la pămînt.

În figura 4.1, *b* se arată sistemul de contacte al unui întreruptor cu volum de ulei cu cele mai simple camere de stingere *18*.

La întreruptoarele cu ulei acțiunea mediului de stingere asupra arcului se realizează, în general, cu ajutorul energiei proprii a arcului însuși, printr-un proces denumit *autosuflaj*. Suflajul se realizează, fie prin deplasarea arcului către mediul de stingere sub influența forțelor electrodinamice produse de curentul ce se întrerupe, fie prin presiunea gazelor formate de arc, fie prin ambele procese.

În figura 4.3 este arătată o cameră de stingere cu contact intermediar și cu suflaj de ulei longitudinal. Această cameră are un contact mobil tubular *10*. Contactul fix *7*, cu partea frontală plată, se poate deplasa în limite mici, comprimînd resortul *8*. El este legat de corpul metalic al camerei prin legături flexibile *5*. Camera are un contact intermediar *6* care este permanent împins în jos de resortul *9*. Partea de sus a camerei (semicamera superioară) *1* este executată din metal. Semicamera inferioară *2* se execută din material izolant. Peretele intermediar *3*, executat de asemenea din material izolant, are canale de comunicare între semicamera superioară *1* și semicamera inferioară *2*.

La anclanșare, contactul mobil *10* atinge contactul intermediar *6* și îl ridică pînă cînd acesta atinge contactul fix *7*, care se mai ridică cu încă 20...30 mm. Astfel, se asigură un contact bun între toate elementele.

O caracteristică a acestei camere este aceea că la deschidere apar două arcuri în serie. Primul se formează arcul din semicamera superioară între contactele *7* și *6* — arc care, prin descompunerea uleiului, generează gaze sub presiune care produc un suflaj în semicamera inferioară prin orificiile dintre semicamere. Al doilea arc, denumit și arc de stingere, se formează în semicamera inferioară între contactele *6* și *10* și este stins datorită suflajului intens de gaze și ulei provocat de primul arc. Constructiv aceste camere se pot realiza și cu suflaj transversal și transversal prin opoziție.

Camera cu suflaj de ulei asigură ruperea unor puteri mari și stingerea arcului electric într-un timp scurt. Cu astfel de camere sînt echipate întreruptoarele cu volum mare de ulei pentru 110 și 220 kV și cu puteri de rupere mari.

Un alt tip de camere de stingere folosite la întreruptoarele cu ulei mult sînt dispozitivele de stingere a arcului cu rupere multiplă. La aceste dispozitive declanşarea se caracterizează prin apariţia simultană a mai multor arcuri în serie — arcuri ce pot fi generatoare de gaze, de stingere sau concomitent şi de stingere şi generatoare de gaze.

Mărirea numărului de ruperi pe fază echivalează, de fapt, cu mărirea vitezei de deplasare a contactelor în ipoteza că tensiunea se repartizează uniform. De asemenea, şi deionizarea arcului se realizează în condiţii mai bune în mai multe spaţii de rupere decît în unul singur. Constructiv se recomandă că tensiunea ce revine unei perechi de contacte să nu depăşească 10—35 kV. Se poate astfel determina numărul necesar de ruperi pe fază pentru o anumită tensiune de lucru.

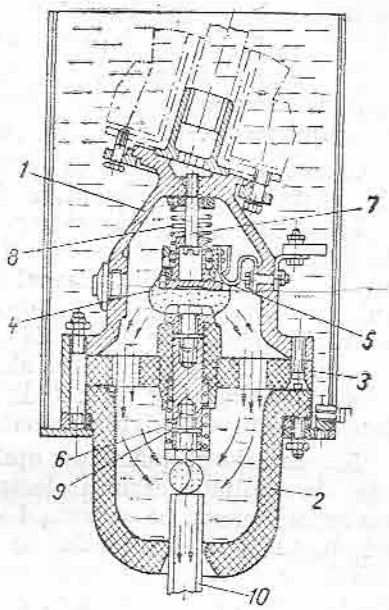


Fig. 4.3

În figura 4.4 este reprezentată o cameră de stingere cu rupere multiplă cu arcuri generatoare de gaze *AG*.

Camera de stingere este reprezentată în poziţie declanşată. În camera de stingere, de formă cilindrică şi executată dintr-un material izolant se găsesc contactele fixe *1* montate pe pereţii camerei şi contactele mobile *2* — pe tija izolatoare *3*. Legătura dintre două contacte fixe alăturate se face cu ajutorul barelor de legătură *4*. Depărtarea contactelor *1* şi *2* se realizează prin mişcarea în jos a tijei izolatoare *3*, sub acţiunea resortului său *7*.

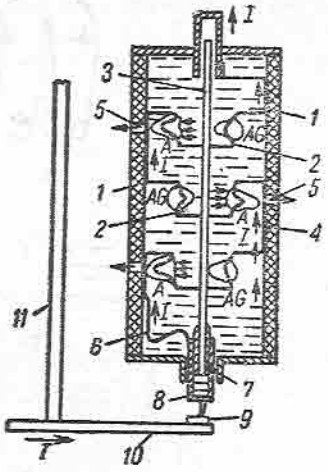


Fig. 4.4

În poziţie anclanşată, contactele mobile *2* creează o punte între două contacte fixe *1*. În faţa fiecărei punţi se găseşte cîte un orificiu *5*. Astfel, la fiecare loc de rupere al camerei există o rupere generatoare de gaze şi o a doua rupere, de stingere, în faţa orificiului *5*. În aceste camere stingerea arcului are loc într-un timp scurt, începe imediat după desfacerea contactelor, iar suflajul este transversal de mare eficacitate. Camerele de stingere sînt fixate pe izolatoare. Contactul fix *8* se desface de contactul mobil *9* de pe traversa *10* după stingerea arcului în camere. În acest fel, se creează distanţa principală de izolare în poziţie declanşată a întreruptorului. Legătura între contactul fix *1* şi contactul fix *8* se realizează

printr-o legătură elastică *6*. Traversa *10* este legată prin intermediul tijei *11* de mecanismul de acţionare al întreruptorului.

De regulă, la aceste dispozitive, în derivaţie cu contactele de rupere multiplă se montează rezistenţe de şuntare pentru uniformizarea repartiţiei tensiunii pe aceste contacte, pentru reducerea supratensiunilor etc.

Camerele de stingere cu suflaj longitudinal în spaţii înguste se folosesc, de asemenea, ca dispozitive de stingere în întreruptoarele cu ulei mult.

La aceste camere de stingere, arcul electric este introdus în spaţii înguste sau canale umplute cu ulei. Deplasarea arcului se realizează datorită acţiunii reciproce dintre arcul electric şi cîmpul magnetic produs de curentul care trece prin el. În aceste canale înguste acţiunea uleiului asupra arcului electric este destul de eficace.

Camera de stingere este alcătuită din mai multe pachete (figura 4.5). Fiecare pachet este format dintr-o placă de oţel *d* şi din cîteva plăci izolate de fibră sau carton presat. Plăcile au grosimi de 3...4 mm.

În interiorul plăcii de oţel *d* se aşază placa *c*, care apără placa de oţel de acţiunea arcului electric. Pe placa de oţel *d* se pune placa *a*, din material izolant, pe aceasta 4—5 plăci *b* şi, în sfîrşit, încă o placă *a*. Astfel, în mijlocul pachetului se formează un spaţiu îngust cu ieşiri lărgite. Afară de aceasta, tăieturile semicirculare din placa *b* formează în interiorul fiecărui pachet trei rezervoare de formă cilindrică ce comunică între ele prin canale înguste. Pachetele astfel alcătuite se ambalează şi se prind cu bulo ane din material izolant.

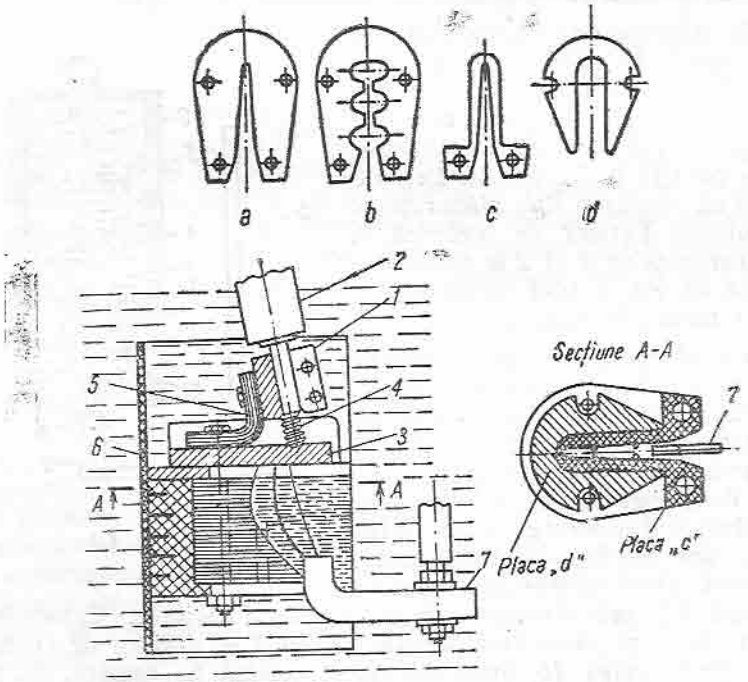


Fig. 4.5

Pentru mărirea rezistenței mecanice a camerei, pe ambele părți frontale, se montează două plăci groase din material izolant, din fibră, textolit etc. Suportul metalic *1* este fixat la partea de jos a izolatorului de trecere *2*, sub care se află contactul plat *3* împins de resortul *4* și legat de suport prin legătura flexibilă *5*. Contactul *3* se poate roti puțin în raport cu suportul (în jurul unei axe orizontale). În acest caz, capătul din dreapta al contactului se poate ridica cu 10...15 mm. Contactul mobil *7* este plat, iar capătul lui este îndoit. Camera de stingere este protejată de ecranul îngust *6*, deoarece în el se deplasează contactul mobil, a cărui grosime nu poate avea dimensiuni sub o anumită valoare din considerente mecanice și de încălzire la curentul nominal. De aceea, sapțiul are o lățime mai mare acolo unde se deplasează contactul și se îngustează apoi spre fund.

Pentru ca forțele electrodinamice să contribuie la atragerea arcului în spațiul îngust, pe ambele ruperi ale unei faze, camerele se fixează cu deschizăturile față în față.

Numărul de pachete din care este formată camera depinde de puterea de rupere și de tensiunea nominală a întreruptorului.
Astfel, pentru întreruptoarele de 110 kV se folosesc 12 pachete.

La unele camere, pentru uniformizarea repartiției tensiunii între plăcile de oțel, acestea se leagă între ele prin rezistențe neliniare.

La anclanșare, contactul mobil *7* intră în spațiul îngust al camerei și se deplasează pînă atinge contactul plat *3*.

La declanșare, contactul mobil *7* se depărtează de contactul *3* și între ele se produce un arc electric. Cîmpul magnetic, care se formează în jurul arcului, ca în jurul oricărui conductor străbătut de un curent, se închide prin plăcile de oțel *d* și prin întrefier. Liniile de cîmp magnetic tinzînd să se scurteze, atrag arcul electric în interiorul spațiului îngust. În același timp arcul electric se deplasează și datorită forțelor electrodinamice provocate de curenții de scurtcircuit. Dar deplasarea arcului electric în interiorul spațiului este împiedicată de uleiul care se găsește aici și care, datorită temperaturii înalte, se vaporizează și se descompune.

Procesul de vaporizare și de descompunere a uleiului are loc foarte rapid, în mod exploziv. Gazele și vaporii formați presează arcul spre exterior, o parte se strecoară prin arcul electric și-l împart în mai multe fire paralele, producînd astfel o răcire și o deionizare intensă a acestuia.

În spațiul îngust mai rămîne încă o cantitate de ulei. La deplasarea arcului în interiorul spațiului, se strîng gaze în rezervoarele cilindrice formate din plăcile *b*, iar cînd curentul din arc se apropie de zero, presiunea în zona arcului se micșorează și gazele care se găsesc în aceste rezervoare se deplasează spre zona arcului amestecîndu-se cu gazele ionizate ce-l înconjoară, ceea ce produce o deionizare intensă a spațiului de arc, ducînd la stingerea arcului.

Atingerea arcului de pereții reci ai spațiului îngust accelerează, de asemenea, răcirea lui și prin aceasta contribuie la stingere.

Forța cu care este atras arcul electric în interiorul spațiului îngust este aproximativ proporțională cu pătratul curentului prin arc și invers proporțională cu lățimea spațiului îngust din placa de oțel. Timpul necesar pentru deionizarea și restabilirea rigidității dielectrice a coloanei arcului, descrește rapid cu micșorarea distanței dintre pereții spațiului îngust;

totuşi, acest spaţiu nu poate fi făcut oricît de mic deoarece în el se mişcă contactul mobil.

Pe lîngă dispozitivele de stingere prezentate pînă acum se mai folosesc şi alte tipuri [3] în încercarea de a ridica cît mai mult performanţele acestor tipuri de întreruptoare. Mai ales folosirea unor camere de stingere cu jet forţat de ulei, pe lîngă sistemul cu autosuflaj, a permis realizarea unor progrese în domeniul întreruptoarelor cu ulei mult. Actualmente aceste întreruptoare se construiesc pentru tensiuni de la 6 la 500 kV şi prezintă interes pentru utilizarea în condiţii climatice deosebit de aspre. La noi în ţară s-au fabricat întreruptoare cu ulei mult pentru 6, 15, 35 kV, de tip IUM; în prezent, acest tip nu se mai fabrică, trecîndu-se la realizarea unor tipuri constructive de întreruptoare cu performanţe mai bune.

Practica exploatării întreruptoarelor cu volum mare de ulei a arătat că acestea prezintă dezavantaje serioase, dintre care cel mai grav este pericolul de incendiu. Folosirea camerelor de stingere nu a înlăturat pericolul de explozie şi de incendiu. Prezenţa cantităţii mari de ulei, de ordinul zecilor de tone, provoacă greutăţi în exploatare. Revizia şi controlul cer un timp îndelungat. Părţile cele mai importante ale întreruptorului nu se pot examina fără golirea cuvei, iar aceasta durează un timp destul de lung.

Din aceste motive s-a trecut la tipuri de *întreruptoare cu ulei puţin*, ceea ce a dus la micşorarea dimensiunilor şi deci a cantităţilor de materiale utilizate. Această economie de materiale este cu atît mai însemnată cu cît tensiunea nominală a întreruptorului este mai mare.

La aceste întreruptoare, uleiul este folosit numai ca mediu de stingere, iar izolaţia părţilor sub tensiune se realizează din porţelan, răşini sintetice etc.

Principiul de construcţie a camerelor de stingere pentru întreruptoarele cu volum redus de ulei este, în fond, acelaşi ca şi la camerele de stingere pentru întreruptoarele cu volum mare de ulei. Execuţia constructivă a acestor camere, însă, este o parte diferită. Întreruptoarele cu ulei puţin se realizează în numeroase variante constructive dintre care o parte vor fi prezentate în acest paragraf.

Întreruptorul Sachsenwerk este un întreruptor de înaltă tensiune cu ulei puţin, la care stingerea arcului electric este condiţionată de un suflaj de gaze produse de curentul întrerupt. Avînd în vedere că acţiunea de stingere creşte cu creşterea curentului de rupere, deconectarea este asigurată la întreaga gamă de scurtcircuite de la cele mai mici pînă la cele mai mari.

Întreruptorul are pe fiecare fază o cameră de stingere (figura 4.6) formată din:

— cilindru de preşpan *2*, calculat pentru presiuni foarte înalte;
— contactul tulipă *3*;
— contactul mobil *1*;
— camera de presiune *4* cu canalele de evacuare *5*, *6*; ea separă camera de expansiune *7* de canalul de scurgere *11*.

Tija de cuplare *1* este construită la capătul ei de contact sub formă de tub prevăzut cu orificiile *8* care corespund cu capetele canalelor de evacuare *5*, *6* a bucşei camerei *4*. La apariţia unui curent mare, tija se deplasează, deplasarea provocată de impulsul de acţionare al releului de curent care eliberează resortul de declanşare şi face ca tija să se ridice în sus din

poziţia cuplată. Cînd tija părăseşte contactele se formează un arc care evaporă şi gazeifică o cantitate de ulei. Gazele produse formeză în jurul arcului socotit drept axă, o pungă mai mult sau mai puţin sferică. Datorită evaporării uleiului, are loc o creştere a volumului şi deci o suprapresiune în camera umplută cu ulei, care este cu atît mai mare cu cît este mai puternic arcul, adică cu cît este mai puternic scurtcircuitul. În momentul în care primul orificiu al tijei ajunge la primul canal de evacuare se deschide camera de presiune, închisă pînă în acest moment, amestecul de gaze şi vapori de ulei format în jurul arcului este proiectat cu mare putere prin tubul tijei şi canalul de evacuare în camera superioară, atrăgînd astfel arcul în ţeava tijei. Astfel, are loc un suflaj puternic al mediului de stingere care spală arcul a cărui parte exterioară este puternic răcită.

Descărcarea conţinutului camerei de presiune are drept urmare o micşorare a diametrului pungii de gaz cu o bruscă evaporare suplimentară. Masele de vapori reci, nou generate pătrund în canalul arcului şi provoacă o răcire intensă a sa.

Dacă orificiul tijei a trecut de canalul de evacuare *5*, atunci camera de presiune este din nou închisă şi la atingerea celui de al doilea orificiu se deschide iar, însă cu un diametru de eşapare mai mare. Creşterea presiunii şi expansiunea are loc deci de mai multe ori în mod brusc, legat de noi acţiuni asupra canalului arcului.

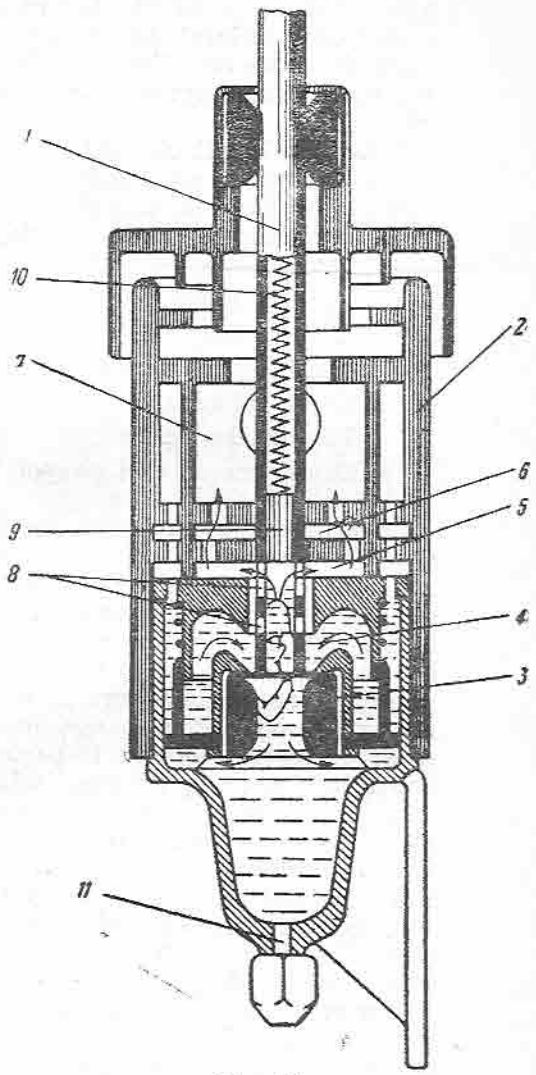


Fig. 4.6

Pentru ajustarea distanţei de stingere şi a timpului de declanşare în funcţie de mărimea curentului de scurtcircuit, în ţeava tijei este introdusă o piesă elastică formată dintr-un piston *9* acţionat de un resort *10*. Poziţia pistonului se poate alege în aşa fel încît, în poziţia de repaus a tijei, unul sau ambele orificii să fie închise. La ruperea unor curenţi de scurtcircuit mici, care generează în cameră o presiune mică, pistonul *9* rămîne în poziţia sa de repaus, reţinut de resortul *10* şi închide orificiile chiar în timpul procesului de decuplare. Acţiunea suflajului şi deci stingerea arcului începe din momentul în care capătul tijei ajunge la canalul de evacuare şi presiunea a crescut la valoarea ei maximă. Presiunea mare datorită ruperii unui curent de scurtcircuit mare, aruncă pistonul *9* în sus în

țeava tijei și, în funcție de putere, deschide unul sau mai multe orificii și provoacă suflajul din momentul cînd primul orificiu ajunge la primul canal de evacuare. Pistonul tijei acționează deci asupra stingerii în mod automat, la distanța de stingere optimă și la durata cea mai mică a arcului.

O acțiune auxiliară foarte bună a țevii tijei constă în aceea că reziidurile de ardere ale arcului se pot forma numai pe pereții interiori, de aceea o murdărire a suprafețelor contactelor are loc numai la cuplarea pe un scurtcircuit și la suprasarcină mare.

Caracteristici tehnice ale întreruptorului Sachsenwerk

Tipul	*B* 200	*S* 400
Tensiunea nominală	20 kV	20 kV
Curent nominal	600 A	1000 A
Puterea de rupere	200 MVA	400 MVA
Cantitatea de ulei pe pol	2 kg	2,5 kg.

Dispozitivele de acționare ale întreruptorului pot fi manuale, cu motor electric, cu aer comprimat, cu resorturi elicoidale și cu electromagneți. Se recomandă ca dispozitivul de acționare să fie montat pe partea laterală sau în spatele întreruptorului. La închiderea și deschiderea întreruptorului, la sfîrșitul cursei, mișcarea întregului mecanism este amortizată, de un dispozitiv cilindru-piston cu ulei, denumit amortizor.

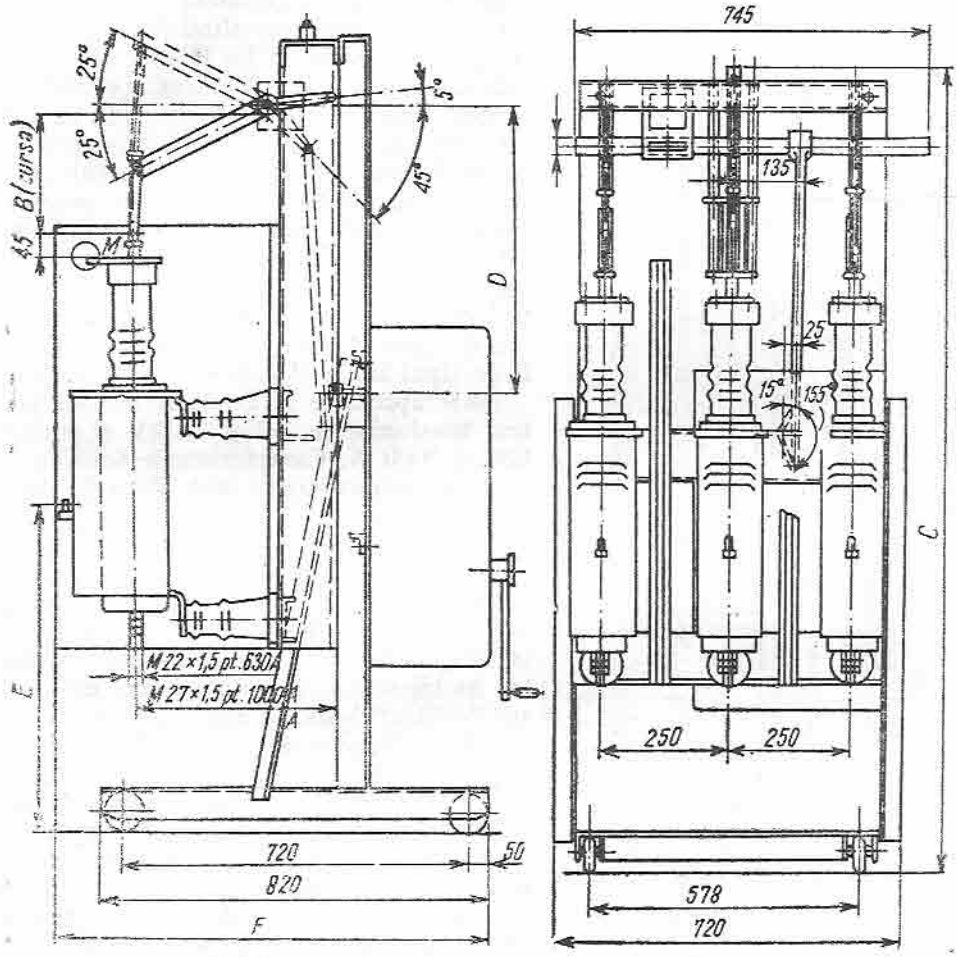
Declanșarea întreruptorului se face cu ajutorul resorturilor elicoidale, montate în exterior, în spatele întreruptorului și care se pot regla printr-un șurub de reglare, montat la partea inferioară a resortului. Aceste resorturi acționează asupra pîrghiilor izolante.

La noi în țară uzinele Electroputere Craiova fabrică întreruptoare cu ulei puțin într-o gamă largă de tensiuni și puteri de rupere, în două serii:

a) întreruptoare cu ulei puțin de medie tensiune, de tipurile IO și IUP—M, pentru tensiuni de 10; 15; 20 kV;

b) întreruptoare cu ulei puțin de înaltă tensiune de tipurile IO și IUP pentru tensiuni de 35; 110; 220; 400 kV, (*I* — întreruptor; *O* — ortojector; *U* — ulei; *P* — puțin; *M* — modernizat).

Întreruptorul de medie tensiune IUP—M este format din trei cuve metalice (fig. 4.7) care conțin camerele de stingere și contactele fixe. Camerele de stingere, cîte una pe fiecare fază, sînt de tipul cu suflaj transversal. În figura 4.8 este reprezentată o secțiune printr-o cuvă metalică de pe o fază. La declanșare contactul mobil *15* se depărtează de contactul fix de tip tulipă *12* și ca urmare între ele apare arcul electric, care descompune uleiul formînd gaze în camera de stingere *13*. Datorită presiunii formate, la deschiderea orificiilor transversale ale camerei de stingere de către contactul mobil ce se deplasează în sus, are loc un suflaj transversal cu jet de ulei și gaze care produce în final ruperea arcului, după ce mai întîi îl deionizează și fragmentează. Gazele se îndreaptă spre partea superioară a cuvei *1* de unde sînt eșapate în atmosferă. Pentru a se curăța de particulele de ulei, gazele trec prin separatorul de ulei *4*, iar particulele de ulei reținute se colectează în rezervorul auxiliar *2*. Camera elastică *3* are rolul de a comprima pătura de aer *14* astfel ca, la trecerea curentului



F	A	B	C	D	E	Tip
843	365	208^{+8}_{-2}	1508	535	610	IUP-10M, 630 ; 1000 A
903	400	240±5	1715	635	710	IUP-20M, 630 ; 1000 A

Fig. 4.7

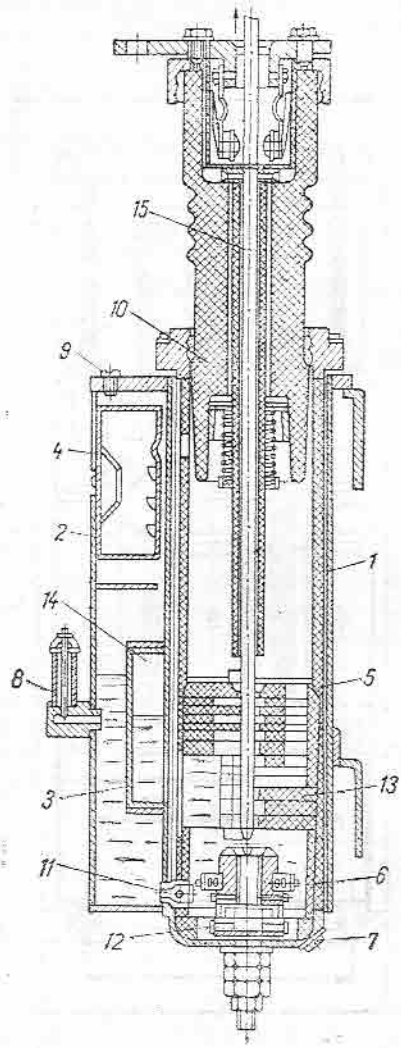


Fig. 4.8

prin zero, prin destinderea ei să se producă un curent de ulei în canalele de suflaj ale camerei de stingere. Camera de stingere este montată în interiorul cilindrilor izolanți *5* și *6*, aflați la rîndul lor în interiorul unui cilindru metalic *1* ce formează peretele exterior. Pentru umplerea camerei cu ulei este prevăzut bușonul *9*, iar pentru golire — bușonul *7*. Izolația între cele două contacte în poziția deschis se realizează cu ajutorul izolatorului de trecere *10*. Nivelul uleiului în camera de stingere se urmărește prin indicatorul de nivel *8*. Cele trei contacte mobile sînt acționate simultan de mecanismul de acționare care poate fi de tipul MRI—0, MRI—1, DPI, DMI—5.

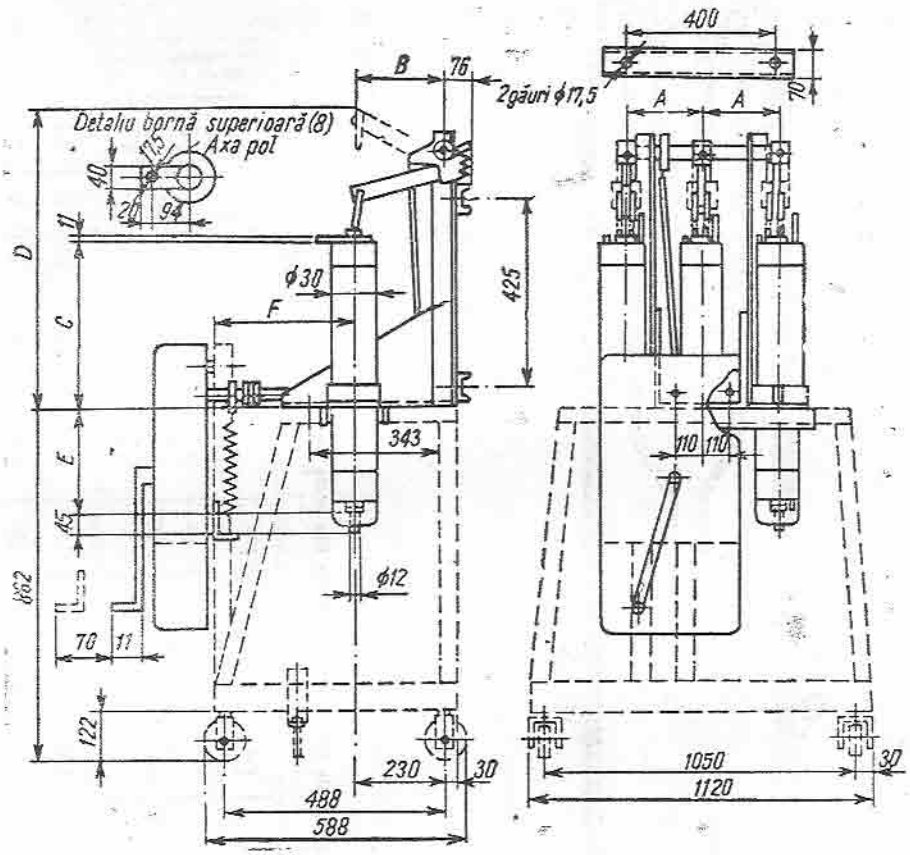
Întreruptoarele IUP—M se fabrică pentru tensiunile de 10 și 20 kV și curenții 630 și 1000 A. Caracteristicile tehnice ale acestor întreruptoare sînt date în tabelul 4.1.

Întreruptoarele de medie tensiune de tip IO se realizează cu camere de stingere cu suflaj longitudinal, montate cîte una pe fază. Se fabrică în două serii: serie ușoară și serie normală. La seria ușoară—contactul mobil se mișcă la deschidere de jos în sus (contactul fix se află la partea inferioară) și, ca urmare, nu este nevoie de etanșarea axului mobil al acestui contact la ulei. Această serie, deși constructiv este mai avantajoasă, are puteri de rupere relativ mai mici față de seria normală. La seria normală, contactul mobil are mișcarea de sus în jos la deschidere (contactul fix este în partea superioară) și, ca urmare, în partea inferioară trebuie etanșat axul mobil la ulei. Rezultă, în schimb,

Tabelul 4.1

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor seria IUP—M

Caracteristicile întreruptorului / Tipul întreruptorului	Tensiunea nominală a întreruptorului [kV]	Curentul nominal [A]	Curentul limită termic (1s) [kA]	Curentul limită dinamic [kA$_{max}$]	Puterea de rupere în MVA la anumite tensiuni de serviciu [kV]			Timpul total de închidere +15%; −5% [s]	Timpul total de deschidere +15%; −5% [s]	Masa uleiului [kg]	Masa întreruptorului, [kg]				
					6	10	20				Fără mecanism de acționare	Cu mecanismul de acționare			
												MRI		DPI	DMI-5
												0	5		
IUP—M 10—630	10(12)	630	30	76,5	200	350	—	0,16	0,07	9	204	280	300	245	234
IUP—M 10—1000	10(12)	1000	30	76,5	200	350	—	0,16	0,07	9	214	290	310	255	244
IUP—M 20—630	20(24)	630	30	76,5	—	—	500	0,16	0,07	10	224	300	320	266	254
IUP—M 20—1000	20(24)	1000	30	76,5	—	—	500	0,16	0,07	10	234	310	330	276	264



Variantă caz particular

Variantă \ Cota	A	B	C	D	E	F
IO-10-400	200	228	440	788	342,5	289
IO-20-400	200	228	440	788	342,5	289

Fig. 4.9

puteri de rupere mai mari, deoarece arcul se formează în sens invers deplasării gazelor şi uleiului proaspăt. Camerele de stingere se montează în interiorul unor cilindri izolanţi: din pertinax — la seria uşoară şi din steclotextolit — la seria normală.

Întreruptoarele IO din seria uşoară se execută pentru tensiunile 10 şi 20 kV şi pentru un curent de 400 A (figura 4.9). În figura 4.10 este reprezentată o secţiune printr-un pol al unui întreruptor IO din seria uşoară. Camera de stingere *6* este introdusă într-un cilindru izolant *2*, cu bornele de racord *5* şi *4*. La declanşarea întreruptorului tija contactului mobil *1*,

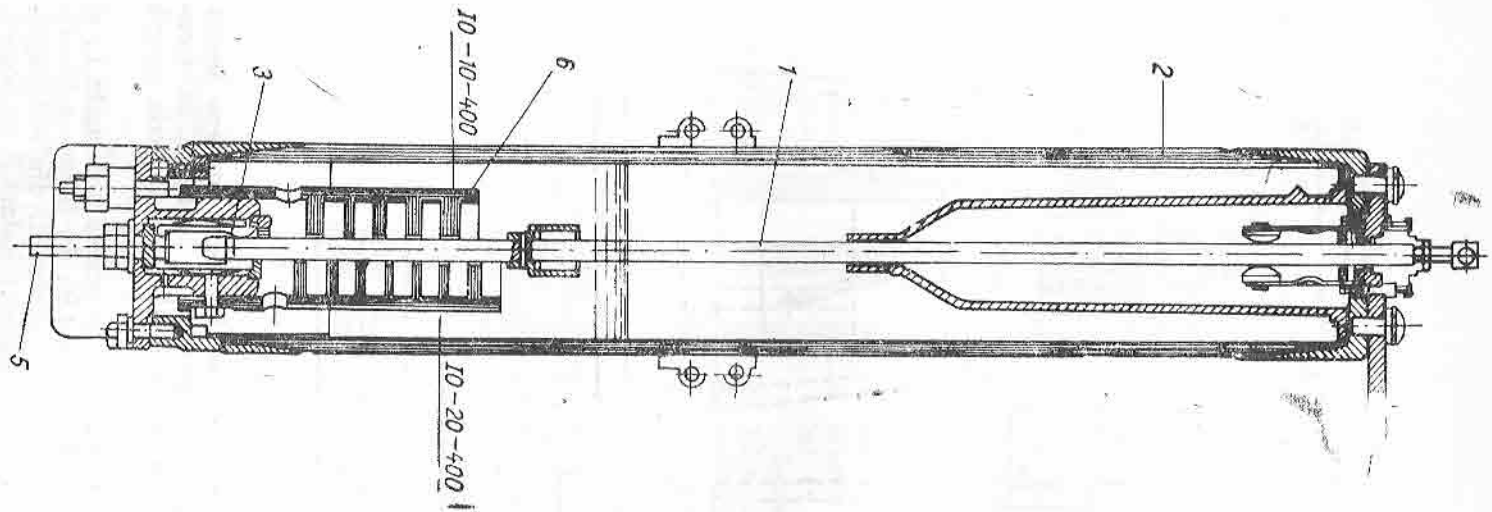


Fig. 4.10

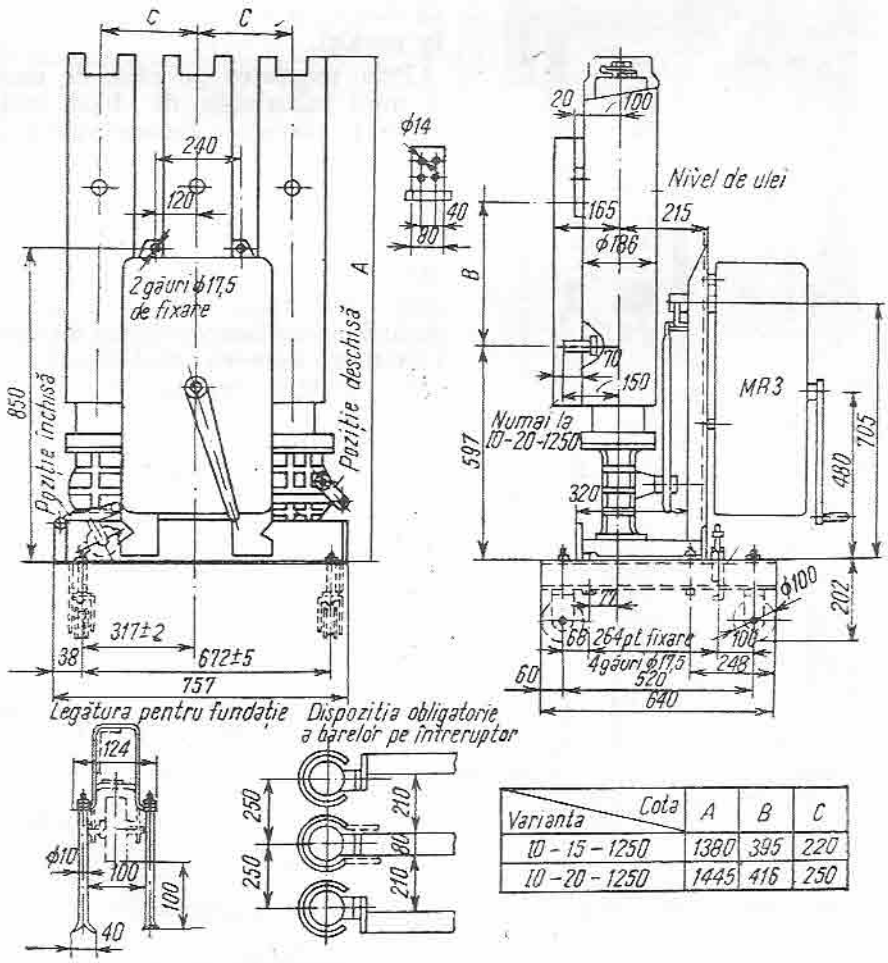
Tabelul 4.2

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO din seria ușoară

Nr. crt.	Tipul întreruptorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea maximă de serviciu [kV]	Curent nominal [kA]	Curent limită termic, la 1 s, [kA]	Curent limită dinamic [kA max]	Puterea de rupere, în MVA la tensiunea de serviciu, în kV				Timpul total de închidere [s]	Timpul total de deschidere [s]	Tipul mecanismului de acționare	Cantitatea de ulei pe fază [kg]	Greutatea totală a întreruptorului cu mecanism de acționare [da N]
							6	10	15	20					
1	IO—10—400	10	12	0,4	14,5	37	150	250	—	—	0,14	0,065	MR—2	2,4	180
2	IO—20—400	20	23	0,4	14,5	37	—	125	250	250	0,14	0,065	MR—2	2,4	210

antrenată de axul comun al dispozitivului de acţionare, se deplasează în sus. La separarea vîrfului tijei contactului mobil de degetele contactului fix interior *3*, arcul electric ce apare provoacă vaporizarea parţială a uleiului în camera de stingere *6*. Datorită compartimentării camerei de stingere şi a prezenţei permanente a uleiului în această zonă, se produce suflajul intens al arcului care este astfel răcit şi deionizat. În tabelul 4.2 sînt date caracteristicile tehnice ale acestor întreruptoare.

Întreruptoarele IO din seria normală se execută pentru tensiuni de 15 şi 20 kV şi curenţi de 630, 1250 A (figura 4.11). Întreruptorul IO de 15 kV se execută şi pentru 2500 A, dar prezintă particularitatea că are montat pe fiecare fază un pol separator în paralel cu un pol întreruptor



Varianta \ Cota	A	B	C
IO - 15 - 1250	1380	395	220
IO - 20 - 1250	1445	416	250

Fig. 4.11

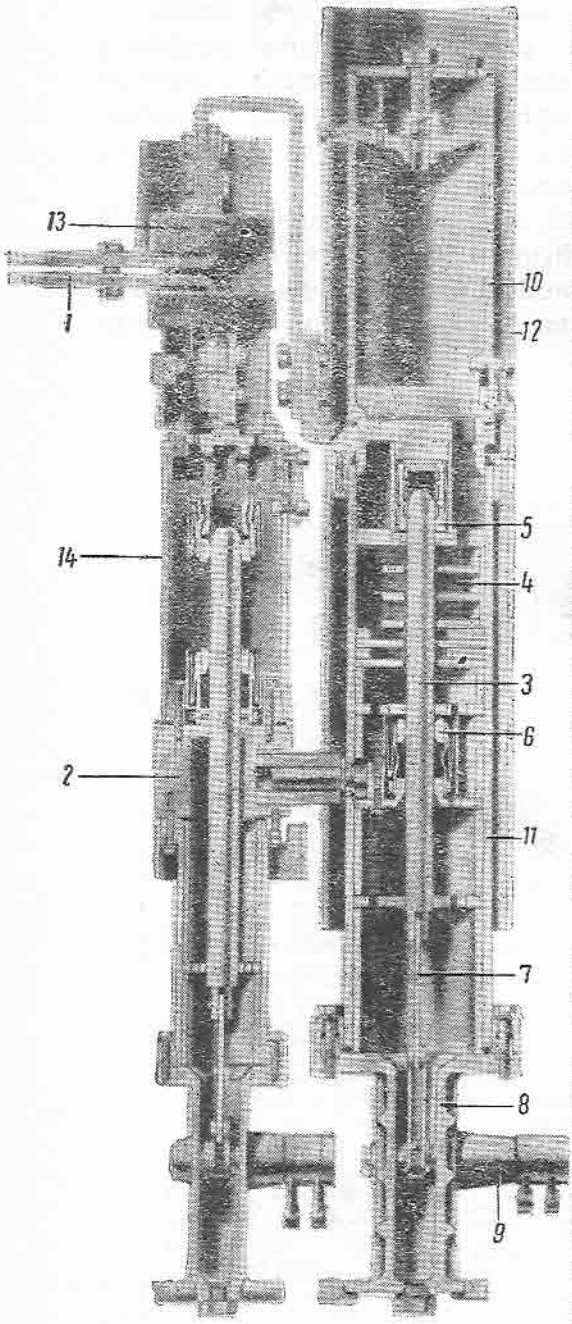


Fig. 4.12

(fig. 4.12). Polul separator se deschide înaintea polului întreruptor, cu un foarte mic avans şi se închide după închiderea acestuia cu o mică întîrziere.

Reperele din figura 4.12 au următoarele semnificaţii: *1* — bornă superioară, *2* — bornă inferioară, *3* — tija contactului mobil, *4* — cameră de stingere, *5* — contacte fixe superioare, *6* — contacte fixe inferioare, *7* — bielă, *8* — carter inferior, *9* — axul mecanismului de acţionare, *10* — carter superior, *11* — cilindru izolant, *12* — ecran izolant, *13* — reductor de curent şi *14* — separator montat în paralel.

Prin montarea pe căile de curent a unui ansamblu de două reductoare de curent cu înfăşurările secundare conectate în opoziţie, se realizează o repartiţie convenabilă a curenţilor, independent de dispoziţia barelor de alimentare şi de eventualele variaţii ale rezistenţei de contact. În cazul inegalităţii tensiunilor în înfăşurările secundare va circula un curent rezultant, care va modifica, în mod corespunzător, impedanţele celor două căi de curent.

Mecanismele de acţionare ale celor doi poli sînt cuplate între ele prin biele şi manivele.

La întreruptoarele IO din seria normală închiderea se face prin ridicare bruscă în sus a tijei contactului mobil.

La deschidere, care se face sub acţiunea unor resorturi de declanşare, tija coboară brusc şi contactul mobil se separă de cel fix. Arcul electric care se produce între inelul de protecţie al contactului şi vîrful de contact al contactului mobil este tras în uleiul proaspăt ce traversează compartimentele camerei de stingere unde vaporizarea intensă provoacă suflajul şi stingerea sa.

Caracteristicile tehnice ale acestor întreruptoare sînt date în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

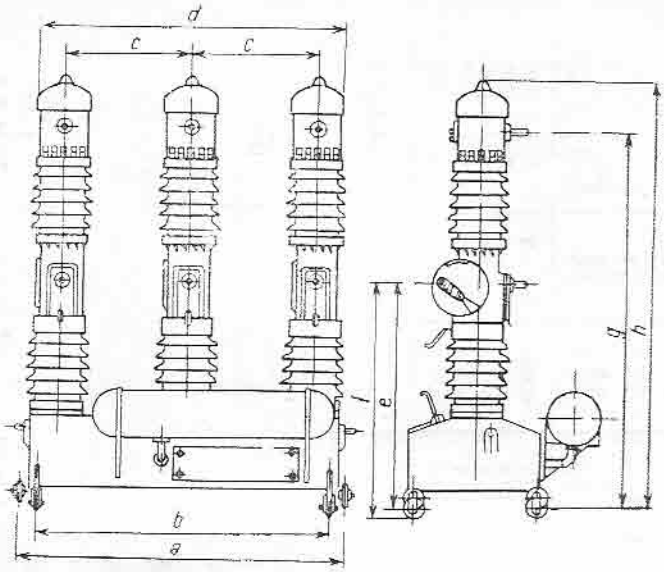
Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO de medie tensiune din seria normală

Nr. crt.	Tipul întreruptorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea maximă de serviciu [kV]	Curent nominal [kA]	Curent limită termic, la 1 s, în [kA]	Curent limită dinamic, în [kA_{max}]	Puterea de rupere în MVA, la tensiunea de serviciu, în kV				Timp total de închidere [s]	Timp total de deschidere [s]	Timpul mecanismului de acționare	Conținutul de ulei pe fază [kg]	Greutatea întreruptorului cu mecanismul de acționare [da N]
							6	10	15	20					
1	IO—15—630	15	17,5	0,63	30	76,5	250	500	500	—	0,18	0,065	MR—2	7	250
2	IO—15—1250	15	17,5	1,25	30	76,5	250	500	500	—	0,18	0,07	MR—3	9	280
3	IO—15—200	15	17,5	2,5	30	76,5	250	500	500	—	0,18	0,07	MR—4	12	500
4	IO—20—630	20	24	0,63	30	76,5	—	500	500	500	0,18	0,065	MR—2	7	255
5	IO—20—1250	20	24	1,25	30	76,5	—	500	500	500	0,18	0,07	MR—3	9	285

Tabelul 4.4

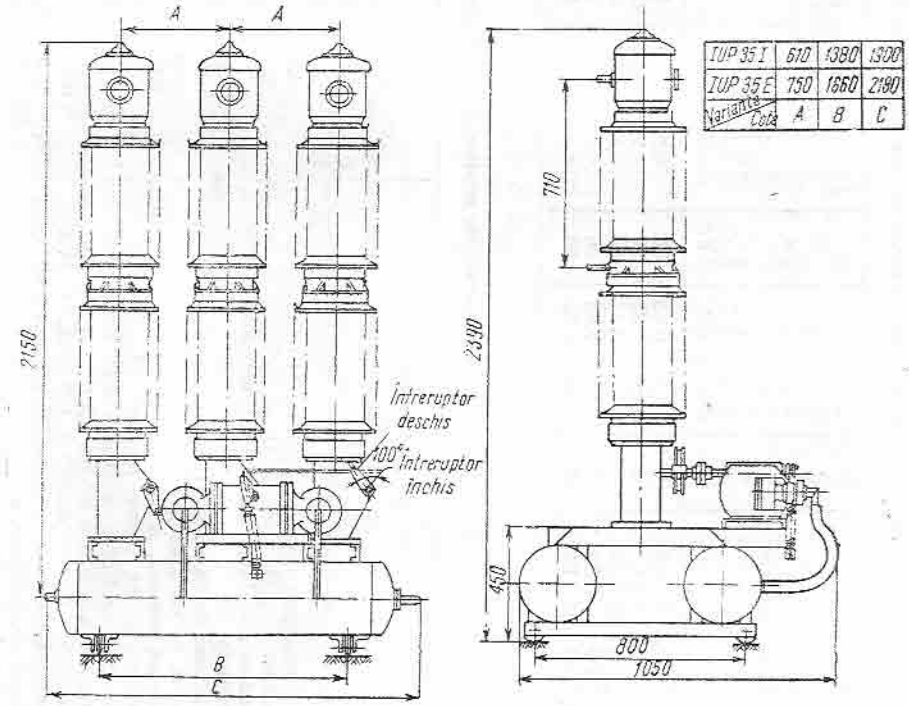
Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IUP de înaltă tensiune

Denumirea parametrului	Întreruptoare seria IUP				
	IUP—35 I(E)*a*	IUP—35 *b*	IUP—110	IUP—110	IUP—110
1	2	3	4	5	6
Tensiunea nominală, kV	35	35	110	110	110
Tensiunea maximă de serviciu, kV	42	42	123	123	123
Tensiunea de încercare (50 Hz, uscat-ploaie) (valoarea efectivă), kV	85	85	230	230	230
Tensiunea de încercare (1,2/50 μs, uscat-ploaie) (valoarea de vîrf), kV	185 (200)	195	550	550	550
Curentul nominal, A	1 250	1 250	630	1 250	1 250
Curentul limită termic (valoarea efectivă), kA	35 la 1 s	35 la 1 s	6,6 la 10 s	20 la 4 s	20 la 4 s
Curentul limită dinamic (valoarea de vîrf), kA_{max}	75	75	33	50	50
Curentul de rupere simetric, kA	16,5	16,5	10	—	—
Puterea de rupere simetrică trifazată, în MVA la tensiune nominală și maximă de serviciu și în ciclul :	1 000	1 000—D	1 900	3 000	3 000
Timpul de închidere, s	500(*D*—0, 3—*ID*)	700(*D*—0, 3*I*—*D*)	—	*D*—0, 3—*ID*	*D*—0, 3—*ID*
Timpul de deschidere, s	0,16...0,22	0,13...0,20	0,20...0,25	0,16...0,22	0,16...0,22
Masa întreruptorului fără ulei, kg	0,16...0,22	0,04...0,06	0,16...0,22	0,07...0,09	0,07...0,09
Tipul dispozitivului de acționare	1000(1040)	—	1400×3	1400×3	1100×3
Denumirea agentului de acționare	DPI-înglobat aer comprimat	1×MR—4 arc	DPI-înglobat —	DPI-înglobat aer comprimat	3×MR—4 arc



Tip \ Cota	a	b	c	d	e	f	g	h
IUP 35 I	1505	–	555	1430	1320	–	2230	2510
IUP 35 E	–	1706	750	1826	–	1390	–	–

Fig. 4.13



Variante \ Cota	A	B	C
IUP 35 I	610	1380	1500
IUP 35 E	750	1660	2190

Fig. 4.14

Întreruptoarele de înaltă tensiune tip IUP executate pentru 35 şi 110 kV au sistemul de stingere a arcului bazat pe un suflaj combinat transversal şi longitudinal. Pentru 35 kV există două variante constructive *a* şi *b*: la varianta *a* — camera de stingere şi elementele sale sînt executate din pertinax, iar la partea inferioară a izolatorului de porţelan este fixată carcasa mecanismului intermediar de transformare a mişcării (fig. 4.13); la varianta *b* — camera de stingere este din textolit, la partea inferioară se află o carcasă intermediară simplificată, iar izolatorul este armat mecanic (fig. 4.14).

Acţionarea întreruptorului este pneumatică şi la închidere şi la deschidere. Se construieşte atît pentru instalaţii de exterior cît şi pentru instalaţii de interior (simbolizate prin *E* — pentru exterior şi *I* — pentru interior).

Caracteristicile lor tehnice sînt date în tabelul 4.4.

Întreruptoarele de înaltă tensiune IO cu rupere rapidă sînt construite cu elemente modul pentru tensiuni de 110, 220, 400 kV. Se construiesc următoarele elemente modul.

Saşiul întreruptorului realizat din profile de oţel sudate pe care se fixează coloanele unei faze.

Coloana izolantă (fig. 4.15) asigură izolaţia faţă de pămînt şi este compusă din carcasa de porţelan *6*, tuburile izolante de înaltă presiune *4*, capacul superior *1*, rezervorul de ulei *2*, inelele de protecţie *3*, capacul inferior *5*. Coloanele izolante se umplu cu ulei sub vid în uzină şi sînt etanşe astfel că uleiul îşi păstrează proprietăţile dielectrice.

Ansamblul mecanism de acţionare (fig. 4.16, *a*) este compus din carcasa *4* în care se află mecanismul hidraulic de acţionare *3*, mecanismul de transmitere a mişcării *2*, contactul mobil *1*, sistemul de ghidaj *6*. În carterul mecanismului se află ulei, al cărui nivel este controlat cu ajutorul indicatorului 7.

Nivelul uleiului din carterul superior este controlat cu ajutorul indicatorului *15*.

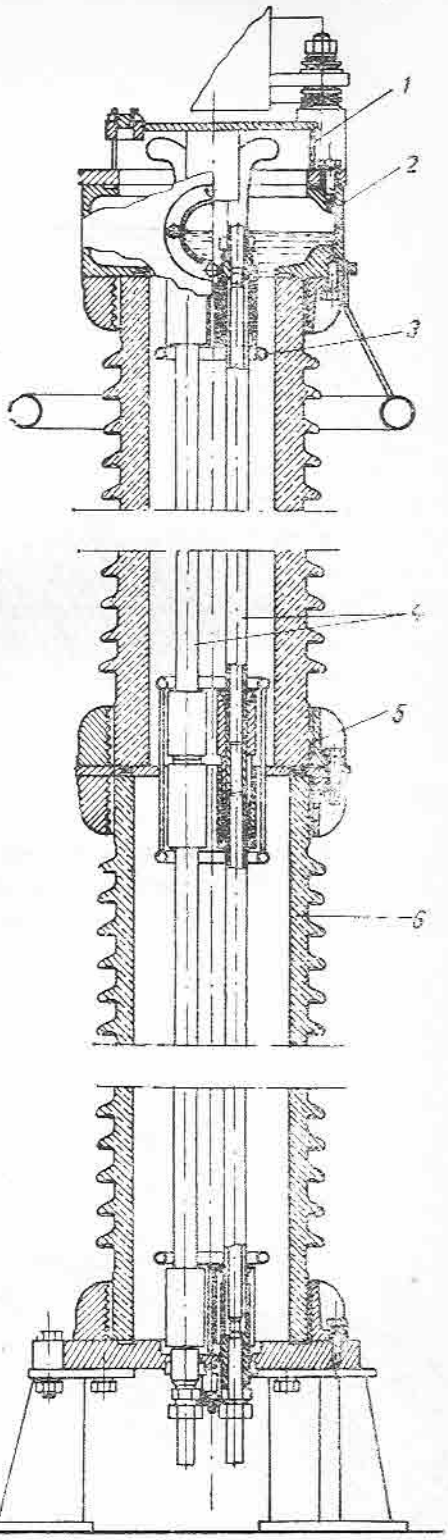


Fig. 4.15

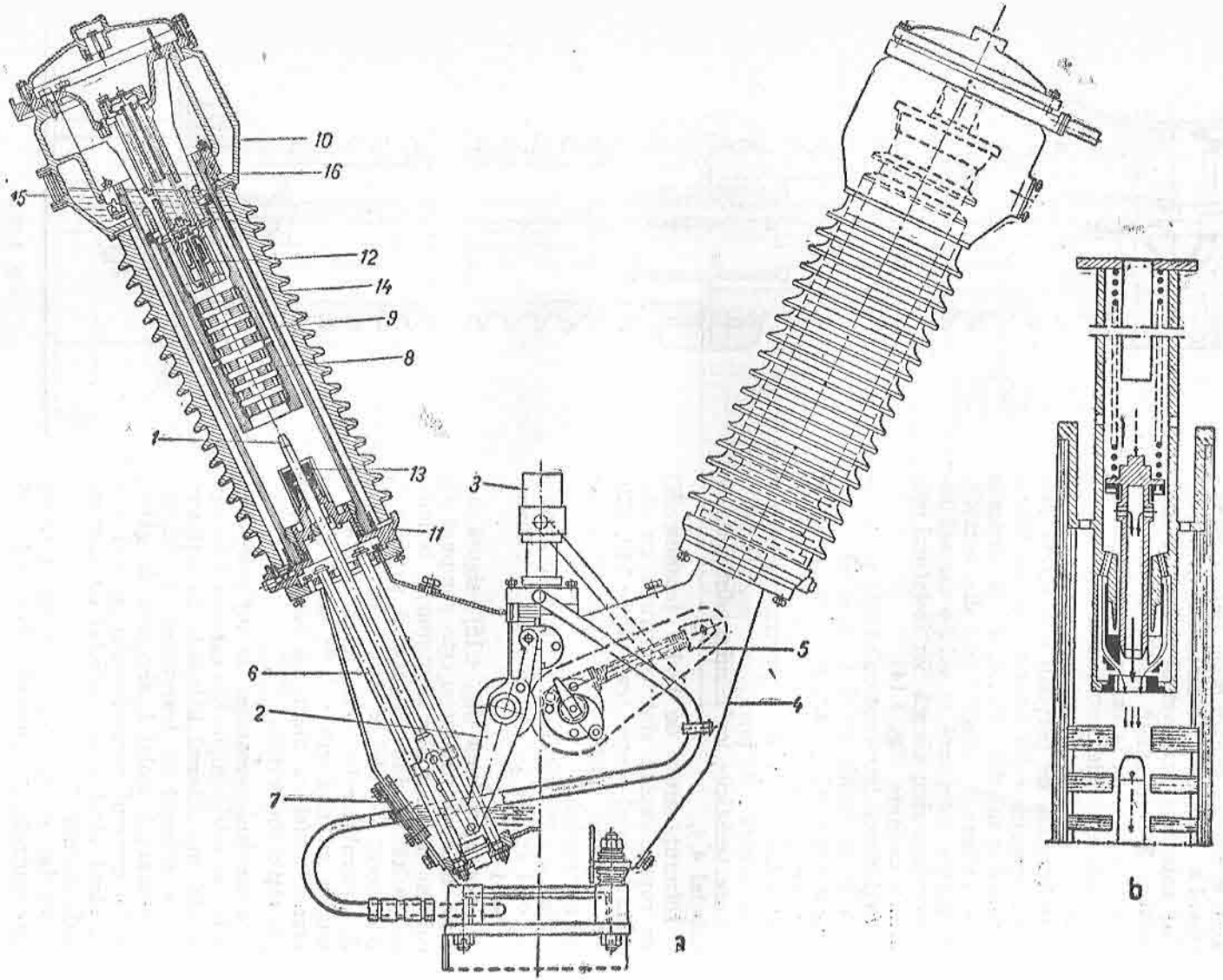


Fig. 4.16

Ansamblul cameră de stingere (fig. 4.16, *a*) este compus dintr-o carcasă de porțelan *14* în care se află: un tub izolant de rezistență *9*, camera de stingere *8*, contactul fix inferior *13*, contactul fix superior *12* și contactul mobil *1*, carterul superior *10*, carterul inferior *11*. Camera de stingere este de tipul cu suflaj longitudinal-transversal. Deasupra camerei de stingere, în carterul superior se află un dispozitiv anticavitațional *16* cu ajutorul căruia se realizează la declanșare, o injecție suplimentară de ulei în camera de stingere.

Ansamblul mecanism de acționare împreună cu două ansambluri cameră de stingere formează un ansamblu în *V* care constituie de fapt polul unui întreruptor IO—110 (fig. 4.16).

La închidere, mecanismul hidraulic prin sistemul de transmitere a mișcării deplasează tijele contactelor mobile ale celor două camere de stingere. Tijele se deplasează în sus stabilind contactul cu degetele contactului fix superior și în același timp comprimă resorturile spirale ale pistoanelor dispozitivelor anticavitaționale umplînd cu ulei cilindrele acestora. În ansamblul mecanism de acționare există dispozitive de zăvorîre *5* cu resorturi ce menține poziția tijei (fig. 4.16, *a*).

La deschidere, tija contactului mobil se deplasează brusc în jos și se separă de contactul fix superior. Arcul electric apare între inelul de protecție al contactului fix și contactul mobil și se dezvoltă în masa de ulei ce umple camera de stingere. Prin vaporizarea uleiului se produce suflajul arcului care este astfel stins. Prin deplasarea în jos a tijelor mobile sînt eliberate pistoanele dispozitivelor anticavitaționale, care sub acțiunea unor resorturi injectează ulei proaspăt de-a lungul coloanei arcului electric grăbind stingerea acestuia.

Sub acțiunea presiunii exercitate de gazele rezultate la stingerea arcului, o supapă închide la fiecare ansamblu cameră de stingere legătura hidraulică între spațiul inelar umplut cu ulei dintre carcasa de porțelan și tubul de rezistență și spațiul din cilindrul izolant, pentru ca presiunea să nu spargă carcasa de porțelan.

Întreruptoarele IO de înaltă tensiune executate de Electroputere după licența Delle au ansamblul cameră de stingere modul construit pentru o tensiune maximă de serviciu de 85 kV. Astfel că pentru 110 kV se folosește ansamblul în *V* cu două camere de stingere pe fază, care poate fi folosit pînă la 170 kV (la 170 kV fiecare cameră are în paralel cîte un condesator de 850 pF). Pentru 110 kV întreruptorul IO are o coloană izolantă și două camere de stingere (fig. 4.17), pentru 220 — are două coloane izolante și patru camere de stingere care au în paralel cîte un condensator de 1000 pF (fig. 4.18), iar pentru 400 kV — se folosesc trei coloane izolante și șase camere de stingere (fig. 4.19).

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO de înaltă tensiune sînt date în tabelul 4.5.

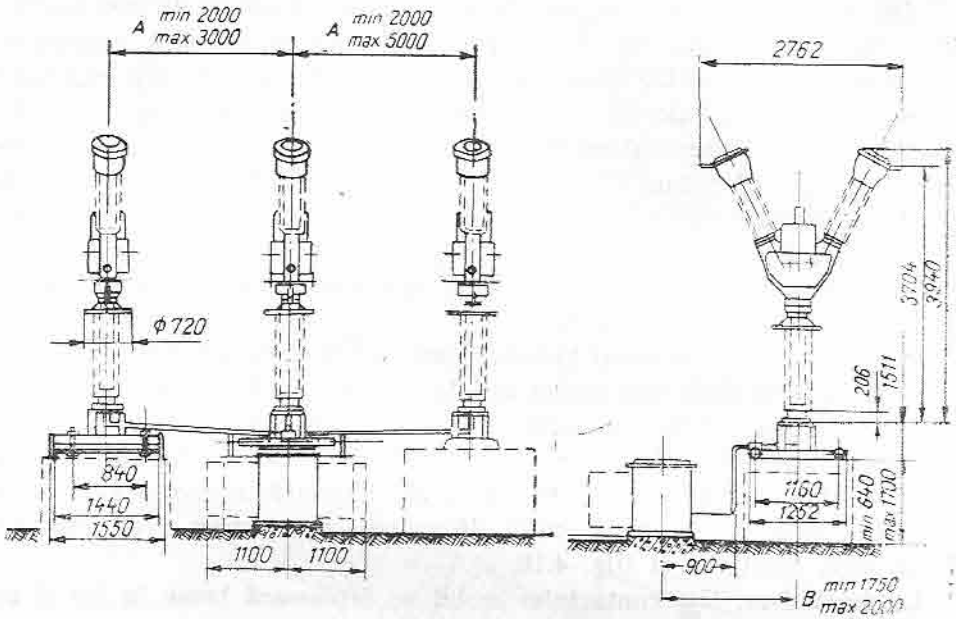
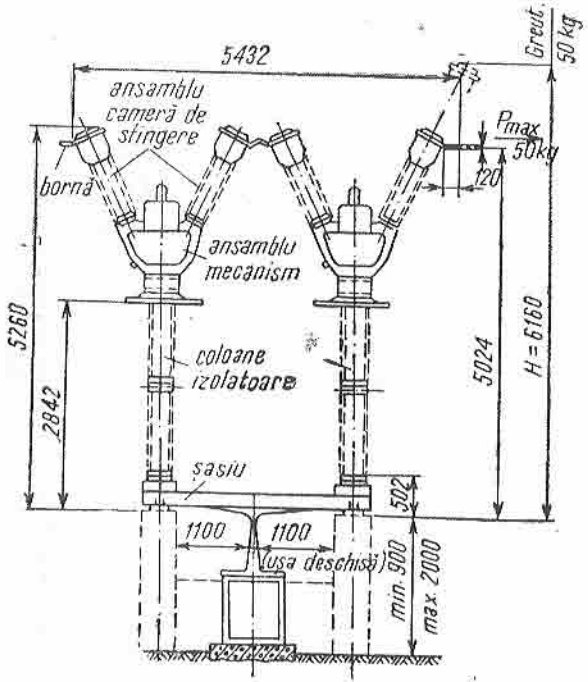


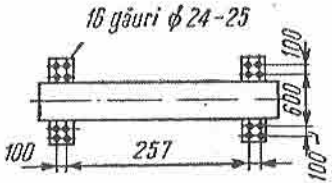
Fig. 4.17

Tabelul 4.5

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO de înaltă tensiune

Denumirea parametrului	Întreruptoare seria IO		
	IO–110	IO–220	IO–400
Tensiunea nominală, kV	110(154)	220	400
Tensiunea maximă de serviciu, kV	126(170)	245	420
Tensiunea de încercare (50 Hz, uscat-ploaie) (valoarea efectivă), kV	230	460	680
Tensiunea de încercare (1,2/50 μs, uscat-ploaie) (valoarea de vîrf), kV	550	1 550	1 550
Curentul nominal, A	1 600	1 600	1 600
Curentul limită termică (valoarea efectivă), kA	31,5 la 4 s	31,5 la 4 s	30
Curentul limită dinamic (valoarea de vîrf), kA_{max}	80	80	80
Curentul de rupere simetric, kA	31,5	31,5	31,5
Puterea de rupere simetrică trifazată, MVA la tensiunea nominală și maximă de serviciu și în ciclul:	6 000 D–0, 3–*ID*	12 000 *D*–0, 3–*ID*	20 000 *D*–0, 3–*ID*
Masa întreruptorului fără ulei, kg	1605×3	4170×3	6650×3
Tipul dispozitivului de acționare	1(3)×MOP–1	3×MOP–1	3×MOP–1
Denumirea agentului de acționare	azot	azot	azot


5432
Greut. 50 kg
ansamblu cameră de stingere
borna
Pmax 50kg
120
ansamblu mecanism
coloane izolatoare
5260
2842
5024
H = 6160
șasiu
502
1100
1100
(ușa deschisă)
min. 900
max. 2000


16 găuri ϕ 24-25
100
600
100
100
257

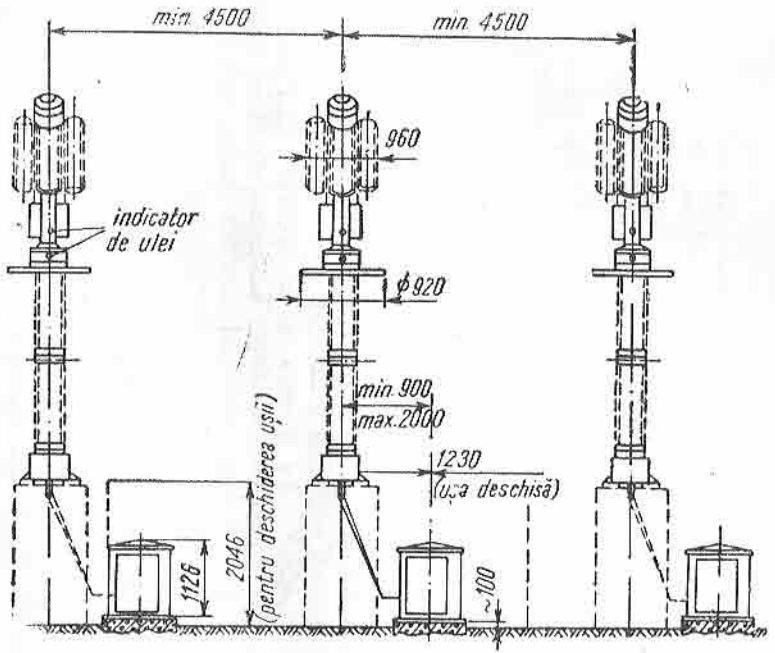

min. 4500
min. 4500
960
indicator de ulei
ϕ 920
min. 900
max. 2000
1230
(ușa deschisă)
2046
(pentru deschiderea ușii)
1126
~100

Fig. 4.18

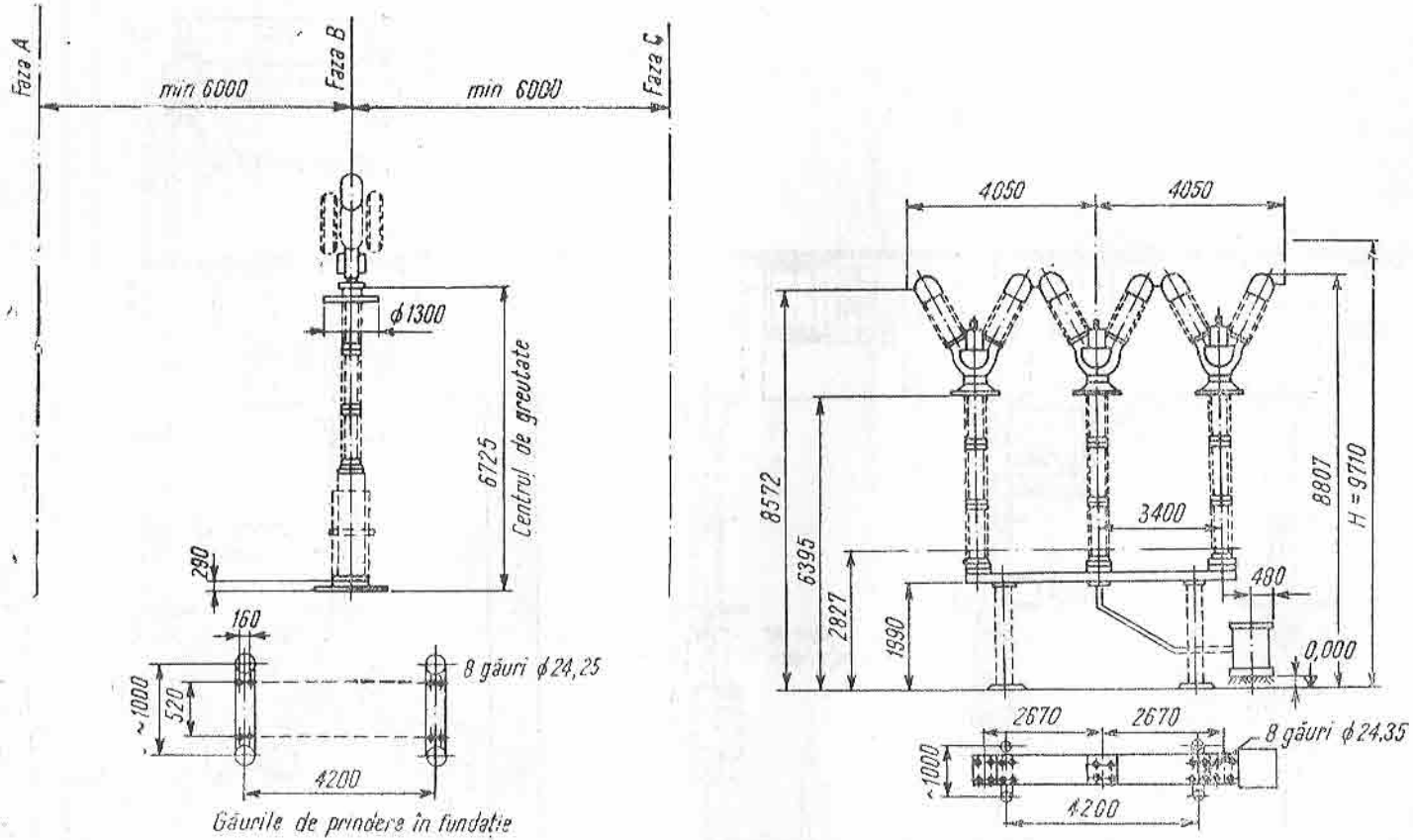

Faza A
min 6000
Faza B
min 6000
Faza C
ϕ1300
6725
Centrul de greutate
290
160
8 găuri ϕ24,25
~1000
520
4200
Găurile de prindere în fundație
4050
4050
8572
6395
2827
1990
3400
480
8807
H = 9710
0,000
2670
2670
8 găuri ϕ24,35
~1000
4200

Fig. 4.19

Acţionarea lor se face cu ajutorul mecanismului de acţionare oleopneumatic MOP—1 monofazat sau trifazat pentru IO—110 şi numai monofazat pentru IO—220 şi IO—400.

B. Întreruptoare cu aer comprimat

În comparaţie cu întreruptoarele cu ulei mult sau chiar cu cele cu ulei puţin, întreruptorul cu aer comprimat oferă următoarele avantaje menţionate mai jos.

a. Siguranţă bună în exploatare prin evitarea incendiilor şi exploziilor.

b. Aerul comprimat se obţine relativ uşor şi este în acelaşi timp şi un bun izolant. În comparaţie cu uleiul, a cărui rigiditate dielectrică scade după fiecare declanşare a întreruptorului, aerul comprimat prezintă avantajul că îşi menţine neschimbată rigiditatea dielectrică.

c. Stingerea rapidă a arcului electric este asigurată independent de valoarea curentului de rupere. Viteza de deionizare a spaţiului dintre contacte este aceeaşi şi la curenţi mici (capacitivi sau inductivi) şi la curenţi mari de rupere. Durata de declanşare este sigură şi precisă.

d. Uzura redusă a contactelor întreruptorului cu aer comprimat, deoarece contactele sînt în permanenţă spălate şi răcite de aerul proaspăt, a cărui presiune este independentă de valoarea curentului întrerupt, depinde numai de rezervorul special afectat.

e. Greutatea redusă a întreruptorului. Piesele aflate în mişcare au greutăţi reduse şi se deplasează pe distanţe scurte. Durata unei declanşări este mult redusă, ceea ce reprezintă un avantaj.

f. Faptul că energia dezvoltată de arc în timpul ruperii poate fi menţinută la o valoare redusă şi că stingerea se produce într-un mediu mereu proaspăt şi lipsit de produsele de descompunere ale uleiului, dă garanţia că procesul de declanşare se va desfăşura mereu în aceleaşi condiţii favorabile, ceea ce permite întreruptorului cu aer comprimat să execute 25—35 de declanşări succesive chiar în cazul curenţilor de scurtcircuit.

g. Întreţinere uşoară. Lipsa uleiului elimină o serie de operaţii de întreţiere pe care le necesită întreruptoarele cu ulei mult sau cu ulei puţin.

h. Folosirea aerului comprimat atît pentru stingerea arcului electric cît şi pentru acţionarea întreruptorului. Odată cu creşterea puterii de rupere, acţionarea manuală a întreruptoarelor devenind din ce în ce mai dificil de realizat, s-a trecut la acţionarea electrică. La întreruptoarele mari, masele mari ce trebuie acţionate necesită instalaţii de alimentare cu energie electrică de putere mare (baterii de acumulatoare). În cazul instalaţiilor exterioare, distanţele întreruptor — baterie fiind mari şi tensiunea acestora destul de mică, este nevoie de cabluri de secţiune mare, deci costisitoare. Acţionarea pneumatică comportînd o instalaţie de producere a aerului comprimat (grupuri compresoare, butelii de aer comprimat) a înlocuit treptat acţionarea electrică, mai ales în cazul întreruptoarelor ce folosesc drept mediu de stingere aerul comprimat. În acest fel, instalaţia de producere a aerului comprimat este folosită mai eficient, avîndu-se în vedere faptul că asigură şi acţionarea întreruptoarelor şi chiar a separatoarelor respective.

i. Permite realizarea unei serii unitare de întreruptoare pe principiul modulului. Camerele de stingere realizate au o putere de rupere limitată

pentru anumite dimensiuni date. Pentru a trece la realizarea întreruptoarelor de tensiune mai înaltă şi de putere de rupere mai mare, se înseriază 2, 4, 6, 8 etc. camere de stingere unitare.

j. Permite exploatarea întreruptoarelor în sală comună. Acest avantaj apare evident în comparaţie cu întreruptoarele cu ulei mult, pentru care prescripţiile prevăd necesitatea instalării lor în celule, cu orientarea direcţiei de explozie spre exterior. Întreruptoarele cu aer comprimat nu prezintă pericolul de explozie şi deci se pot monta în săli comune cu restul instalaţiei.

Principalele dezavantaje ale întreruptoarelor cu aer comprimat sînt menţionate în cele ce urmează.

a. Necesită o instalaţie de producere a aerului comprimat formată din grupuri compresoare cu funcţionare automată, rezervoare, reţea de conducte de distribuţie etc. Această instalaţie este relativ costisitoare şi nu este recomandabilă decît în cazul centralelor electrice şi a staţiilor cu un număr mare de întreruptoare.

b. Construcţia relativ complicată a întreruptorului. Într-adevăr, piesele în mişcare şi alimentarea cu aer comprimat la o presiune între 10—25 at comportă folosirea unor subansambluri cu prelucrări de mare precizie.

c. Costul relativ ridicat. Ca urmare a gradului de precizie în prelucrare şi a instalaţiei anexe pentru producerea aerului comprimat costul acestui întreruptor revine mai ridicat în comparaţie cu al altor tipuri de întreruptoare.

În prezent, prin îmbunătăţiri constructive şi ca urmare a experienţei de exploatare, s-au realizat întreruptoare cu aer comprimat care realizează următorii parametri:

— puterea de rupere	400 —60000 MVA
— tensiunea nominală	3 — 750 kV
— curentul nominal	400 — 6000 A
— presiunea aerului comprimat	10 — 40 at.

Întreruptoarele pneumatice folosesc aerul comprimat ca mediu de stingere a arcului electric. Stingerea se realizează prin debitarea unui jet de aer comprimat în zona de ardere a arcului electric. Sursa de aer comprimat reprezintă o instalaţie separată, situată în apropierea întreruptoarelor şi asigură producerea, înmagazinarea şi distribuţia aerului comprimat.

Fluxul de aer comprimat, avînd o anumită presiune atacă coloana arcului electric longitudinal sau transversal, îndepărtînd particulele de aer încălzite şi ionizate din zona arcului electric şi înlocuindu-le cu alte particule de aer rece, proaspăt. Ca urmare, spaţiul dintre contacte este răcit intens şi deionizat rapid şi la trecerea curentului prin zero atinge o temperatură de circa 2000°K.

La întreruptoarele cu aer comprimat, elementele care influenţează în mod hotărîtor procesul de stingere a arcului electric sînt:

— presiunea şi viteza de scurgere a aerului comprimat;
— frecvenţa proprie a circuitului;
— distanţa dintre contacte;
— secţiunea ajutajului de evacuare;
— orientarea jetului de aer comprimat în raport cu arcul.

Întreruptoarele pneumatice realizate în diferite ţări se deosebesc constructiv între ele prin: varianta aleasă pentru dispozitivul de stingere, procedeu-

de asigurare a spațiului izolant între contacte în stare declanșată și prin configurația părților conducătoare de curent.

În funcție de varianta de dispozitiv de stingere a arcului electric și de procedeul asigurării spațiului izolant între contacte în starea declanșată, întreruptoarele pneumatice se împart în patru grupe:

1. întreruptoare cu umplere temporară cu aer a camerelor de stingere și cu separatoare;

2. întreruptoare cu umplere temporară cu aer a camerelor de stingere, fără separatoare;

3. întreruptoare cu umplere permanentă cu aer, cu cuvă;

4. întreruptoare cu umplere permanentă cu aer, tip coloană.

La camerele de stingere umplute temporar cu aer, aerul comprimat pătrunde numai pe timpul efectuării operației de declanșare; în starea anclanșat, contactele închise stau în aer atmosferic.

La camerele de stingere umplute permanent cu aer, declanșarea și anclanșarea se produc în mediu de aer comprimat, care este menținut pe toată durata exploatării. Prezența permanentă a aerului comprimat în camera de stingere permite realizarea unor distanțe mai mici între contactele întreruptorului aflat în poziția declanșat. O oarecare complexitate a construcției acestor camere de stingere este compensată de o mai bună siguranță în funcționare.

Pentru realizarea spațiului de izolație între contacte cu poziția deschisă se folosesc în principal schemele prezentate în figura 4.20. Primele două scheme sînt fără separator (fig. 4.20, *a* și *b*), a doua schemă, avînd un contact de lucru în paralel cu cel de stingere, fiind folosită pentru curenți nominali de peste 2000 A. Următoarele două scheme (fig. 4.20, *c* și *d*) sînt scheme cu separator și contacte de stingere cu impuls. Contactele de stingere cu impuls se deschid în momentul pătrunderii aerului comprimat în camera de stingere; după stingerea arcului, la ieșirea aerului comprimat, ele se închid sub acțiunea unui resort. Contactul separator care se deschide imediat după stingerea arcului și înainte de închiderea din nou a contactelor de stingere realizează spațiul de izolație în poziția declanșată a întreruptorului. În figura 4.20, *d* contactele de stingere au în paralel o rezistență de șuntare. În figurile 4.20, *e* și *f* sînt prezentate alte două moduri de montare a rezistențelor de șuntare. Aceste rezistențe se montează pentru a se limita mai ales panta tensiunii de restabilire între contactele de stingere.

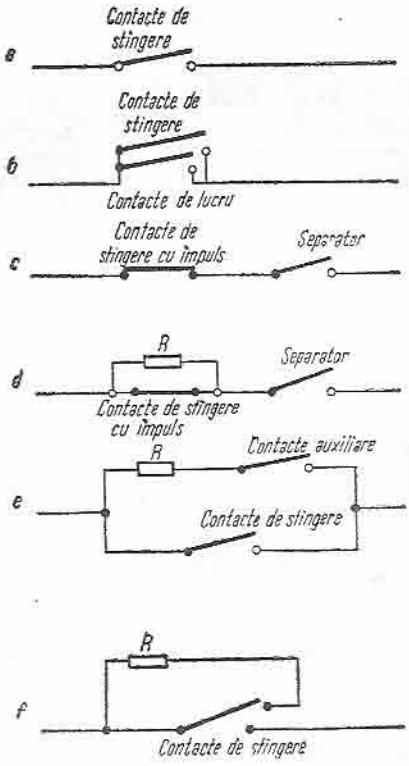


Fig. 4.20

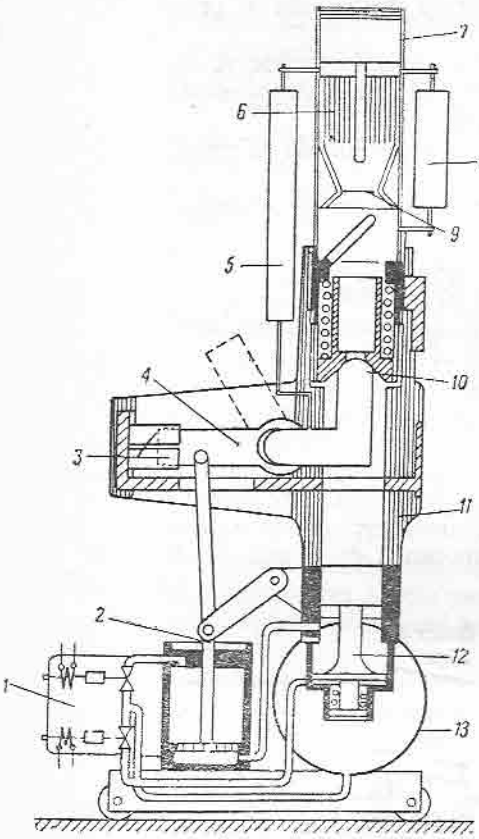


Fig. 4.21

În continuare sînt prezentate unele tipuri de întreruptoare cu aer comprimat.

Întreruptoare cu aer comprimat de interior tip DE. Sînt întreruptoare construite de firma Brown Boveri pentru tensiuni de 3 pînă la 12 kV. Stingerea arcului se realizează într-o cameră de stingere cu suflaj longitudinal. Spațiul izolant în poziția deschisă se realizează cu ajutorul unor contacte separator. O secțiune prin acest întreruptor este prezentată în figura 4.21. Suportul întreruptorului îl constituie rezervorul de aer comprimat *13*. Din acest rezervor prin supapa *12* aerul comprimat ajung în camera de stingere. În față se află blocul de comandă *1* și separatorul cu cuțitul mobil *4* și contactele fixe *3*. Acționarea cuțitului separatorului se face cu ajutorul tijei *2*. Camera de stingere *10* este susținută de un cilindru de rășină sintetică *11*. Deasupra camerei de stingere se află eclatorul auxiliar *9* care are rolul de a introduce în circuit rezistența *5*. În partea opusă acestei rezistențe de valoare destul de mică se află rezistența neliniară *8*, care are rolul de a diminua supratensiunile ce pot apare la deconectarea curenților mici inductivi. Gazele folosite la stingere sînt răcite în elementul de răcire *6* și apoi evacuate în atmosferă prin elementul *7*. În figura 4.22 se poate observa modul de funcționare la declanșare a acestui tip de întreruptor. În figura 4.22, *a* întreruptorul este închis. La apariția comenzii de declanșare, aerul compri-

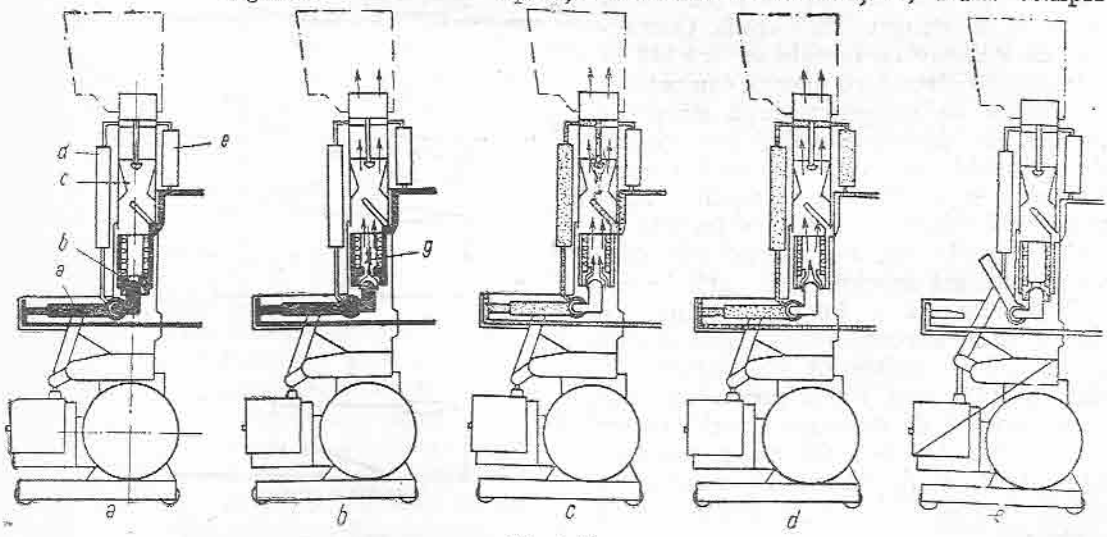


Fig. 4.22

mat pătrunde în camera de stingere *b* deplasînd în jos contactul întreruptorului şi ca urmare apare arcul notat cu *g* (fig. 4.22, *b*). Urmează stingerea arcului şi apoi amorsarea eclatorului *c* care introduce în circuit rezistenţa *d* (fig. 4.22, *c*).

Scopul introducerii acestei rezistenţe de valoare destul de mică este de a realiza amortizarea aperiodică a oscilaţiilor tensiunii de restabilire. În acest mod puterea de rupere devine într-o mare măsură independentă de frecvenţa proprie a circuitului.

După stingerea curentului rezidual, prin eclator este pusă în circuit rezistenţa neliniară *e* (fig. 4.22, *d*). În final se deschide cuţitul separatorului *a* care realizează spaţiul izolant necesar (fig. 4.22, *e*).

Presiunea de lucru este de 26 sau 16 at. Întreruptorul este realizat cu elemente normalizate interschimbabile cu caracteristici de diferite tipuri care permit folosirea lor într-un domeniu larg: tensiuni de la 3 la 12 kV, curenţi nominali de 1600 şi 2500 A, puteri de rupere de la 200 la 1000 MVA.

Un alt tip de *întreruptor cu aer comprimat cu umplerea temporară cu aer a camerei de stingere şi cu separator* este prezentat în figura 4.23. Este vorba de un întreruptor cu întrerupere dublă şi cu separator. La acest tip de întreruptor, dispozitivul de stingere are contactul mobil legat rigid de mecanismul de contacte cu piston. Contactele sînt deschise de către aerul comprimat admis în interiorul camerei de stingere. Simultan, se comprimă resortul de anclanşare. După stingerea arcului electric, aerul este evacuat din camera de stingere în atmosferă şi astfel resortul de anclanşare revine la poziţia sa iniţială (de repaus) şi efectuează închiderea contactelor.

Avantajele acestui dispozitiv de stingere sînt:

1. construcţia relativ simplă;

2. posibilitatea realizării întreruperii multiple prin folosirea mai multor elemente standardizate.

Dezavantajele acestui dispozitiv de stingere sînt:

1. asimetria alimentării cu aer comprimat;

2. înălţimea relativ mare a coloanei izolante;

3. existenţa separatorului şi acţiunea temperaturilor şi presiunilor ridicate provocate de arcul electric asupra coloanei izolante din porţelan.

Dezavantajele apar mai evident atunci cînd se folosesc mai multe locuri de întrerupere.

Schema de comandă a întreruptorului, reprezentată principial în figura 4.23, asigură sincronizarea creerii spaţiilor izolante cu acţionarea separatorului.

Prin acţionarea electromagnetului de declanşare *13* se comandă ventilul de pornire *12*, iar aerul comprimat va împinge pistonul *17* al ventilului de suflare, va comprima resortul *16* şi va asigura umplerea cu aer comprimat a camerelor de stingere prin intermediul conductei *19* aflată în interiorul coloanei izolante inferioare *5*. Urmează separarea contactelor prin deplasarea în sus a tijelor *3* şi stingerea arcului electric. Înainte de a se stinge arcul electric, electromagnetul *15* al separatorului deschide ventilul de pornire al mecanismului de acţionare a separatorului *14*. Aerul comprimat trece prin conducta *8* şi prin mecanismul *6* deschide cuţitul separatorului *7*. Din momentul în care aerul comprimat, adus prin conducta *19*, a stins

arcul electric, el este evacuat în atmosferă, resortul de anclanşare restabileşte poziţia anclanşată a contactelor *1* şi *2*, iar separatorul *7* atinge poziţia sa finală deschisă. La deschidere se începe cu separarea contactelor *1* şi *2* şi se termină cu închiderea cuţitului separatorului *7* ceva mai devreme decît închiderea contactelor *1* şi *2* ale întreruptorului.

Camerele de stingere se află în interiorul coloanei izolante superioare *4*. Legătura electrică a întreruptorului cu circuitul electric în care se montează se face prin intermediul bornelor *10* şi *11*, ultima bornă fiind de fapt contactul fix al separatorului montat pe izolatorul suport *9*. Aerul comprimat se păstrează în rezervorul *18*.

Întreruptoarele pneumatice cu separatoare, de exterior, pentru tensiuni între 100 şi 500 kV, folosesc, de obicei, acest dispozitiv de stingere cu dispunerea pe verticală a camerelor de stingere. Începînd cu tensiunea de 220 kV, coloana izolantă a camerelor de stingere este dublă.

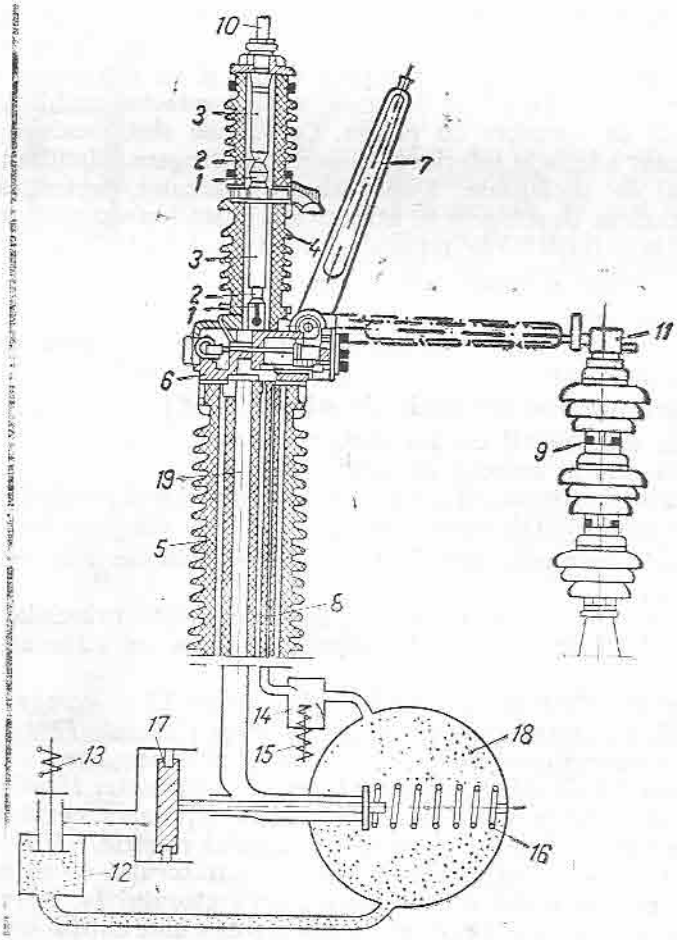


Fig. 4.23

Numărul locurilor de rupere, limitat de considerente de ordin constructiv, este:

2—3 pentru tensiunile 110—132 kV;
3—4 pentru tensiunile 150—165 kV;
4—8 pentru tensiunile 220—270 kV;
7—12 pentru tensiunile 380—500 kV.

În figura 4.24 se arată schema de principiu pentru o fază, a acționării pneumatice.

Această schemă permite realizarea a trei operații principale: anclanșarea, declanșarea și reanclanșarea precum și a patru operații auxiliare: susținerea impulsului la anclanșare, susținerea impulsului la declanșare, oprirea aerului comprimat la anclanșare și oprirea aerului comprimat la declanșare.

Anclanșarea se comandă de la distanță, prin electromagnetul de acționare al ventilului de pornire a anclanșării *20*, sau local, prin butonul de comandă pneumatică manuală locală *24*. Aerul comprimat apasă în jos pistonul ventilului de anclanșare *5*, care astfel închide orificiile de eșapare și trimite aer la distribuitorul *18*. În continuare cilindrul dispozitivului de acționare a separatorului *17* comandă închiderea cuțitului mobil *11* al separatorului. Simultan cu anclanșarea se efectuează și alte două operații auxiliare: menținerea impulsului de anclanșare și întreruperea alimentării cu aer comprimat.

Menținerea impulsului la anclanșare, independent de durata impulsului primar, este asigurată de aerul comprimat care trecînd prin conducta *a* și clapeta de reținere *22*, menține pistonul ventilului de anclanșare *5* în poziția sa inferioară.

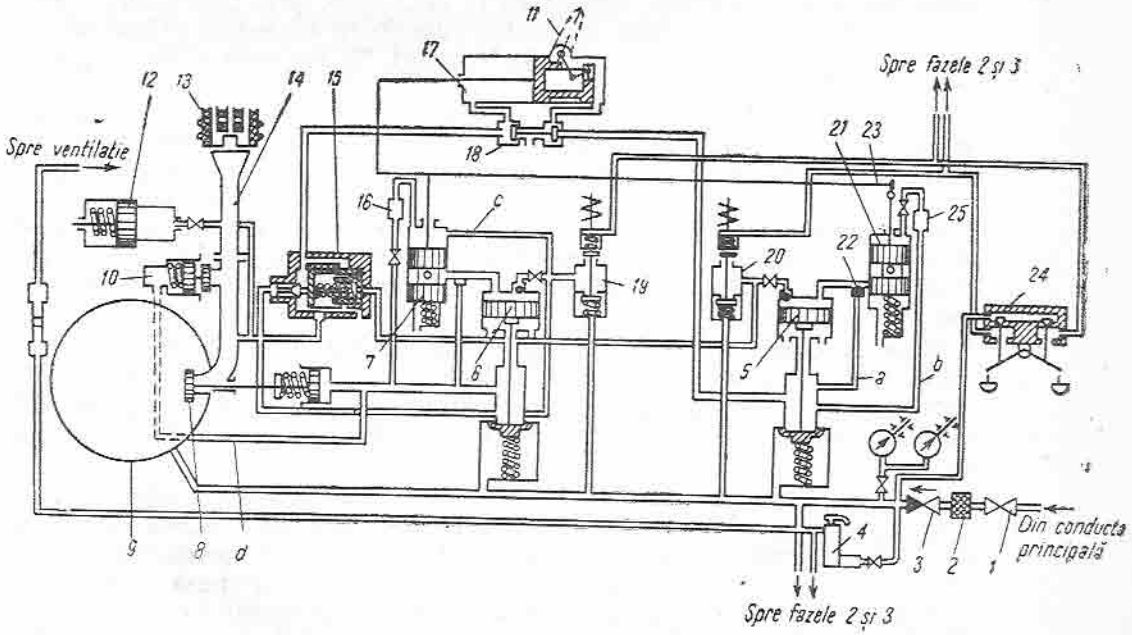


Fig. 4.24

Întreruperea alimentării cu aer comprimat se realizează, atît pe cale mecanică, cît şi pe cale pneumatică.

Întreruperea mecanică este realizată de axul *23*, care la închiderea separatorului se roteşte şi printr-un dispozitiv de contacte, deconectează electromagnetul ventilului de pornire a anclanşării *20*. Ca urmare, resortul închide ventilul de pornire *20*, o camă de pe axul *23* deschizînd orificiile de eşapare ale ventilului de anclanşare *5*. Sub acţiunea resortului său, în lipsa presiunii aerului, ventilul *5* se deschide. Întreruperea pneumatică este începută după deschiderea ventilului *5*; aerul comprimat trece prin conducta *b* în spaţiul *25* şi ventilul de reglare în partea superioară a cilindrului-sertar *21* şi efectuează întreruperea aerului comprimat înainte ca axul întreruptorului să facă o rotaţie.

Declanşarea se comandă de la distanţă, prin electromagnetul ventilului de pornire a declanşării *19*, sau local, prin butonul din dreapta *24*. Aerul comprimat apasă în jos pistonul ventilului de declanşare *6*, ventilul este deschis şi aerul acţionează asupra ventilului *8*. Prin deschiderea ventilului *8*, aerul comprimat din rezervorul *9* trece prin conducta *14* înspre camerele de stingere *13*. Contactele se separă, arcul electric este stins, după care, ventilul *8* închizîndu-se, presiunea din camere de stingere scade şi resortul de anclanşare închide din nou contactele camerei.

Odată cu deschiderea ventilului *19*, aerul comprimat este trimis la ventilul *15*, care prin deschidere, îl dirijează spre distribuitorul *18*. Acesta efectuează mişcarea inversă faţă de cazul anclanşării şi trimite aer în cilindrul dispozitivului de acţionare al separatorului pentru deschiderea cuţitului mobil.

Menţinerea impulsului la declanşare şi întreruperea alimentării cu aer comprimat sînt realizate similar ca la anclanşare prin intermediul cilindrului sertar *7*. Aerul ajunge în partea superioară a acestuia prin conducta *c*, reţinîndu-l în poziţia inferioară. Volumul *16* are aceeaşi destinaţie ca volumul *25*.

Ventilul antivibrator *10* are rolul de a evita creşterea de scurtă durată a presiunii în camera de stingere. La declanşare, ventilul este închis de aerul ce pătrunde pe conducta *d*. Resortul său este astfel dimensionat încît, atunci cînd presiunea din conducta *14* şi din camera de stingere este într-un anumit raport faţă de presiunea ce apasă din stînga asupra ventilului *10*, acesta permite evacuarea în atmosferă a surplusului de aer, astfel încît presiunea în camera de stingere, în momentul închiderii contactelor, este redusă.

Reanclanşarea rapidă se produce la circa 0,2—0,3 s de la efectuarea declanşării, separatorul fiind încă închis şi blocat în această poziţie de către ventilul de reanclanşare *15* care nu permite, în această fază, accesul aerului comprimat spre cilindrul mecanismului de acţionare al separatorului *17*.

La comanda unui releu de reanclanşare sînt acţionaţi ambii electromagneţi ai fazei întreruptorului. Aerul comprimat este trimis numai la camerele de stingere. Ventilul *15* nu poate fi deschis de presiunea aerului ce vine de la ventilul de declanşare *6*, deoarece pe partea opusă, cu o suprafaţă de lucru mai mare, apasă aerul ce vine de la ventilul de anclanşare *20*. Aerul infiltrat accidental este evacuat în atmosferă prin supapa *12*.

Deschiderea contactelor releului de reanclanşare întrerupe alimentarea ambilor electromagneţi şi, ca urmare, ventilele *19* şi *20* se închid. Aerul comprimat nu mai are acces spre camerele de stingere, presiunea scade şi contactele din camere, sub acţiunea resortului de anclanşare, se închid, realizîndu-se reanclanşarea.

Dacă defectul care a provocat declanşarea persistă, releele de protecţie vor acţiona din nou şi întreruptorul este declanşat definitiv. Umplerea rezervorului *9* se face prin ventilele *1* şi *3* şi prin filtrul *2*. Pentru uscarea aerului se foloseşte uscătorul *4*.

Ca o variantă constructivă întîlnită în seria de întreruptoare pneumatice, cu umplere temporară cu aer, cu separator, se menţionează dispozitivul de stingere cu camerele de stingere dispuse în *V* şi cu folosirea rezistenţelor de şuntare pentru uniformizarea repartiţiei tensiunilor pe locurile de rupere.

Dezvoltarea seriei de camere de stingere pentru realizarea mai multor locuri de rupere se face pe orizontală, prin aceasta întreruptorul obţinînd un s upliment de robusteţe.

Întreruptoare cu umplere temporară cu aer a camerelor de stingere, fără separatoare. Ca o consecinţă directă a lipsei separatorului, această grupă de întreruptoare se bazează pe o deplasare suplimentară a contactelor, după stingerea arcului, care să asigure distanţa de izolare necesară în poziţia declanşat.

Reţinerea contactului mobil în poziţia declanşat, la distanţa de izolare prescrisă, se realizează pe cale mecanică printr-un clichet sau pe cale pneumatică cu ajutorul aerului comprimat.

Întreruptorul pneumatic, cu jet liber, tip AEG. Acest întreruptor se construieşte pentru o gamă largă de tensiuni şi puteri de rupere, fiind folosit în reţelele de medie şi înaltă tensiune.

În figura 4.25 se prezintă un întreruptor de 110 kV cu două camere de stingere montate pe orizontală.

Dispozitivul de stingere al acestui întreruptor (fig. 4.25) este caracterizat prin suflaj longitudinal — transversal al arcului electric şi prin existenţa a două locuri de rupere înseriate.

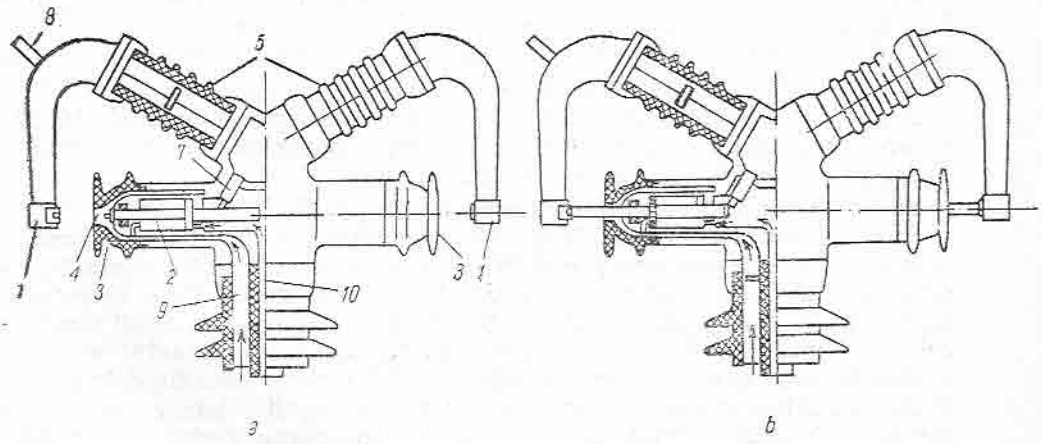


Fig. 4.25

Camera de stingere propriu-zisă are o carcasă metalică în care este prevăzut un ajutaj din material izolant *3*.

Contactul fix *1* este montat în brațul metalic, de care este fixată și borna de racordare *8*. Din punct de vedere electric, camera de stingere este șuntată de un condensator *5*, care asigură o repartiție uniformă a tensiunii pe fiecare cameră. Contactul mobil *2* este acționat de aerul comprimat, care asigură și distanța de izolare suplimentară între contacte în poziția declanșată a întreruptorului. Reținerea contactului mobil în această poziție este asigurată pe cale mecanică de un clichet *7*.

Două camere de stingere montate în serie formează un dispozitiv de stingere care se montează pe o coloană-suport formată dintr-un izolator tubular care are în interior un tub ceramic. Aerul comprimat necesar separării contactelor și stingerii arcului electric este adus prin spațiul *9* cuprins între tubul ceramic și peretele izolatorului coloanei. Aerul comprimat pentru anclanșare este adus prin conducta formată de tubul ceramic *10*.

Avantajele dispozitivului de stingere cu jet liber sînt:

— construcția robustă și simplă;
— alimentarea simetrică cu aer comprimat a camerelor de stingere;
— întreținere ușoară;
— întreruperea circuitului este vizibilă;
— spațiul izolant între contacte se realizează singur, fără ajutorul aerului comprimat, fiind menținut de un clichet;
— evacuarea în atmosferă a tuturor gazelor din interiorul camerelor de stingere;
— curenții capacitivi sînt întrerupți fără reamorsări;
— permite montarea unei instalații adiționale pentru debitarea aerului comprimat în două trepte (o treaptă pentru întreruperea fără zgomot a curenților mici și normali și o a doua treaptă pentru întreruperea curenților mari, la care zgomotul nu este evitat);
— permite aplicarea principiului modulului pentru obținerea unor întreruptoare pentru tensiuni și curenți din ce în ce mai mari.

Un dezavantaj al acestui dispozitiv de stingere este amplasarea neprotejată a contactelor, care poate provoca dificultăți în exploatare, în special datorită chiciurei care poate conduce la deteriorarea contactelor sau la prelungirea duratei de declanșare.

Pentru întreruperea curenților mari, la tensiuni din ce în ce mai ridicate, acest întreruptor folosește ruperea multiplă realizată prin montarea în serie, pe orizontală, a mai multor dispozitive.

Funcționarea întreruptorului pneumatic cu jet liber (fig. 4.25).

În urma unui impuls de declanșare, aerul comprimat pătrunde prin conducta *9* în camera de stingere (fig. 4.25, *a*). Sub presiunea aerului, contactele se separă, arcul electric se produce în exterior în aerul atmosferic și este suflat din ce în ce mai puternic, pe măsură ce tija contactului mobil deschide orificiul ajutajului *4*. După stingerea arcului electric, contactul mobil își continuă cursa și este reținut de clichetul *7*, întreruptorul fiind în poziția declanșat. Alimentarea cu aer comprimat fiind oprită, întreg volumul de aer ce a efectuat suflajul fiind evacuat în atmosferă, presiunea în camera de stingere revine la normal.

La anclanşare, se alimentează camera de stingere prin conducta *10* şi astfel contactul mobil prevăzut cu piston, este obligat să restabilească legătura cu contactul fix *7* din braţul *8*, aerul în exces fiind evacuat în atmosferă (fig. 4.25, *b*).

Fiecare fază are un sistem de comandă independent. Întreruptorul poate funcţiona în regim de reanclanşare automată monofazată sau trifazată.

Faţă de dezvoltarea puterilor de scurtcircuit în reţelele moderne, constructorii acestui tip de întreruptor au adus treptat o serie de îmbunătăţiri, pentru a obţine performanţe tehnice superioare. Astfel, s-au preconizat următoarele modificări:

— adoptarea ajutajelor metalice;
— adoptarea rezistenţelor de şuntare a camerelor de stingere;
— o presiune crescută a aerului comprimat, în scopul obţinerii unei rigidităţi dielectrice mari a spaţiului dintre contacte;
— păstrarea aerului comprimat, după declanşare, în spaţiul dintre contacte; amplasarea ajutajelor în cuve metalice;
— adoptarea suflării inverse, adică eliminarea parţială a fluxului de aer din camera de stingere prin interiorul tijei contactului mobil.

În acest fel, la noile întreruptoare pneumatice cu jet liber, de foarte mare putere de rupere, s-au realizat:

— creşterea presiunii în ajutajul camerei de stingere;
— suflajul îmbunătăţit al bazei arcului electric prin fluxul invers;
— montarea ventilului de suflare chiar în corpul dispozitivului de stingere;
— o creştere a rigidităţii dielectrice a spaţiului dintre contacte;
— o economie a consumului de aer comprimat;
— o mare siguranţă la întreruperea curenţilor foarte mari, în gama de tensiuni 30—750 kV.

Datorită acestor îmbunătăţiri, noul tip de întreruptor pneumatic cu jet liber de mare putere de rupere asigură o putere de rupere ridicată, siguranţă mare în exploatare, durată scurtă de declanşare, dimensiuni din cele mai reduse precum şi un nivel de zgomot redus.

Există şi o construcţie de întreruptor pneumatic cu jet liber, cu sursă proprie de aer comprimat, destinat a fi montat în instalaţii ce nu dispun de o instalaţie centrală de producere a aerului comprimat.

Întreruptorul cu aer comprimat, cu camere de stingere montate orizontal tip DCVF şi DHVP produs de firma BBC. Aceste întreruptoare se construiesc pentru toate tensiunile pînă la 750 kV, folosindu-se o serie de elemente standardizate, interschimbabile.

Elementul caracteristic este dispozitivul de stingere a arcului electric, cu suflaj longitudinal de aer şi cu rezistenţe de şuntare. Este format din înserierea a două camere de stingere dispuse pe orizontală, deci are două puncte de rupere. Spaţiile disruptive sînt şuntate de rezistenţe care au propriul lor sistem de contacte. Rezistenţele de şuntare şi contactele lor, la un ansamblu de două camere de stingere, sînt montate în interiorul unor mantale izolante formate din izolatoare tubulare şi sînt dispuse în forma literei *M*.

La declanşare, distanţa de stingere dintre contacte şi distanţa de izolare necesară în poziţia declanşată este asigurată pe cale pneumatică.

Camera de stingere funcţionează în două etape (fig. 4.26). În prima etapă, în lipsa aerului comprimat din camera de stingere, contactele sînt ţinute

închise de resortul de anclanşare *6*. Prin deschiderea ventilului de suflare, aerul comprimat pătrunde prin conducta *20* în interiorul camerelor de stingere (camera de stingere se află în interiorul izolatorului *12*). Aici se desparte în două fluxuri. Fluxul principal *3* acţionează asupra pistonului *5* şi îndepărtează contactul mobil *2* de contactul fix *1*, deplasîndu-l spre stînga. Pătrunzînd prin interiorul contactului mobil, aerul comprimat stinge arcul electric *19* şi apoi iese în atmosferă prin orificiul de evacuare *7*. Fluxul de frînare *4* pătrunde prin orificiul calibrat *10* şi după circa 0,02—0,04 s umple volumul de amortizare *11*.

Odată cu umplerea volumului de amortizare *11* se termină prima etapă.

La sfîrşitul primei etape, contactul mobil a atins distanţa sa optimă faţă de contactul fix şi, la prima trecere prin zero a curentului, arcul electric este stins. Aerul proaspăt ce pătrunde în continuare în camera de stingere deionizează spaţiul dintre contacte şi, prin orificiul *7*, evacuează în atmosferă aerul ionizat şi astfel împiedică orice reamorsare.

În etapa a doua, după circa 0,02—0,04 s, arcul electric fiind stins, presiunea aerului din volumul de amortizare *11* a atins o anumită valoare care îi permite să acţioneze asupra ventilului *9*, (aflat în carcasa metalică *8*), comprimînd resortul acestuia. Astfel, se continuă deplasarea spre stînga a contactului mobil pentru realizarea distanţei de separare necesară şi se închid orificiile de eşapare *7*. Aerul comprimat rămîne deci în interiorul camerei de stingere şi menţinînd contactele separate, asigură şi o rigiditate dielectrică ridicată a spaţiului disruptiv.

Rezistenţele de şuntare *13* prin intermediul contactelor auxiliare *15* şi *16* aflate în corpul izolant *14* (acţionate tot pneumatic prin intermediul pistonului *17*) sînt conectate în circuit în momentul cînd se deschid contactele de stingere şi începe stingerea arcului.

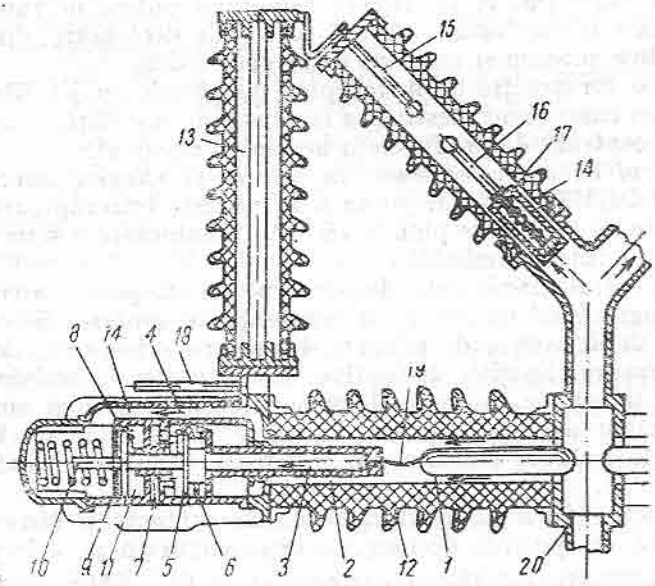


Fig. 4.26

După stingerea arcului electric aceste rezistenţe sînt scoase din circuit. Legătura întreruptorului cu circuitul în care este conectat se face prin borna *18*, cealaltă bornă fiind pe cealaltă cameră de stingere. Schema electrică a acestui tip de întreruptor este prezentată în figura 4.27. Contactele *1* sînt contactele principale de rupere, de închidere şi de realizare a spaţiului de izolaţie. Contactele *2* sînt contactele auxiliare ce asigură conectarea şi deconectarea rezistenţelor de şuntare neliniare şi de mare valoare *r*. Aceste contacte trebuie să rupă curentul rezidual ce trece prin rezistenţe după stingerea arcului.

Dispozitivele de stingere cu camere amplasate pe orizontală şi cu rezistenţe de şuntare în formă de *M* prezintă următoarele avantaje:

a. prezenţa spaţiului izolant închis;

b. posibilitatea folosirii unor rezistenţe de şuntare de valoare mică şi mijlocie;

c. posibilitatea aplicării principiului modulului pentru realizarea unui număr mare de puncte de rupere;

d. rezistenţă mecanică mare;

e. simetria alimentării cu aer a camerelor de stingere.

Ca dezavantaj, se poate menţiona acţiunea presiunii şi a temperaturii ridicate asupra corpului izolant al camerei de stingere, în zona de ardere a arcului electric.

Pentru curenţi de mare intensitate şi pentru reţele de medie tensiune firma BBC a construit *întreruptorul cu aer comprimat DMF* a cărui schemă electrică este prezentată în figura 4.28. Spre deosebire de schema precedentă, contactele *1* sînt numai de rupere, deschizîndu-se doar pentru un scurt timp. Ele sînt şuntate de nişte rezistenţe *R*, care asigură o repartiţie uniformă a tensiunii şi amortizează tensiunea tranzitorie de restabilire. Curentul rezidual, ce trece prin rezistenţe imediat după stingerea arcului de către contactele *1*, este rupt de către contactele *2* tip separator. Înainte de închiderea contactelor *1*, contactele *2* se deschid şi asigură spaţiul de izolaţie în poziţia declanşată a întreruptorului.

Şi în cazul acestui tip de întreruptor ca şi în cazul întreruptorului tip DCVF prezentat anterior pentru folosirea lui la tensiuni înalte s-a folosit procedeul înserierii mai multor camere de stingere. În figura 4.29 este prezentat un pol de întreruptor DMF de 245 kV cu patru camere de stingere şi o cameră cu contacte separator în serie.

Pentru realizarea unor întreruptoare cu mare putere de rupere mai ales a unor întreruptoare care să permită mărirea ulterioară a puterii de rupere prin adăugarea unor camere de stingere suplimentare acest tip de întreruptor s-a dovedit mai economic decît precedentul.

Întreruptorul cu aer comprimat tip VVN 110—220 kV. Întreruptoarele de tip VVN 110—220 kV sînt întreruptoare prevăzute cu comanda şi stingerea arcului cu aer comprimat, fiind destinate să funcţioneze în instalaţii electrice de tip exterior.

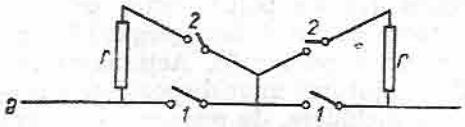


Fig. 4.27

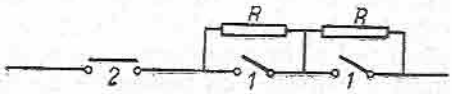


Fig. 4.28

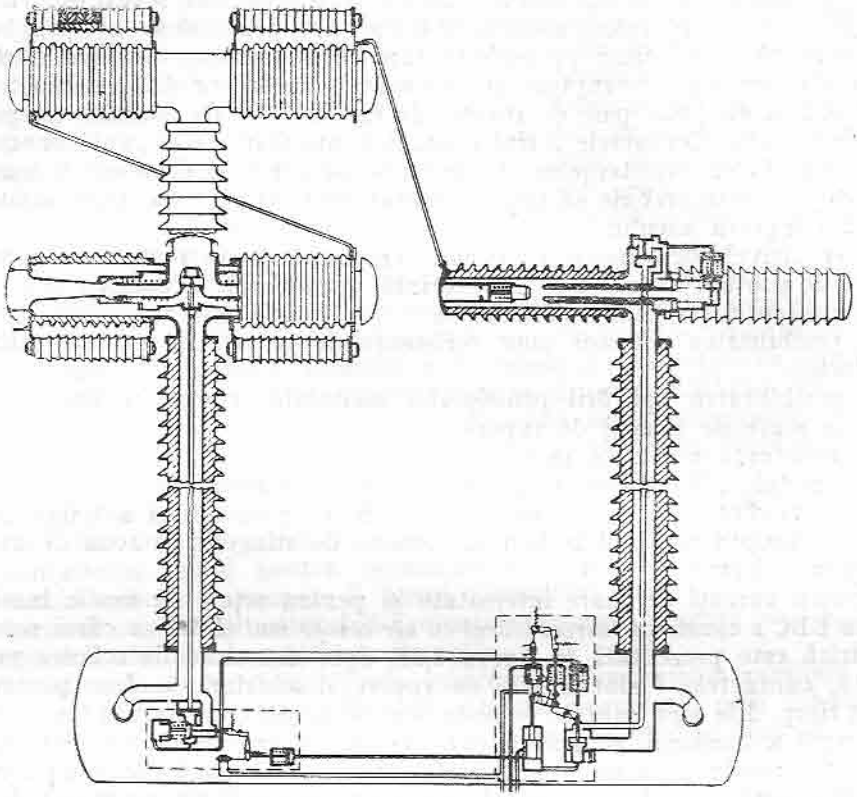


Fig. 4.29

Simbolurile VVN 110—T6 şi VVN 220—T10 au următoarea semnificaţie:
— primul grup de litere *VVN* indică tipul întreruptorului;
— primul număr indică tensiunea nominală 110 kV, respectiv 220 kV;
— litera *T* indică faptul că întreruptoarele sînt de tip tropicalizat; la întreruptoarele de construcţie normală lipseşte această literă;
— ultimul număr indică puterea de rupere: astfel 6 corespunde pentru 6000 MVA, iar 10 pentru 10000 MVA.

Întreruptoarele de tip VVN 110—T6 şi VVN—220—T10 sînt identice ca funcţionare şi construcţie, diferind între ele numai în ce priveşte dimensiunile detaliilor şi numărul camerelor de stingere.

Caracteristicile tehnice şi parametrii de funcţionare şi întreruptoarelor tip VVN 110—T6 şi VVN 220—T10 sînt prezentate în tabelul 4.6.

Vederea generală a întreruptorului tip VVN 220—T10 este arătată în figura 4.30. Fiecare întreruptor este compus din trei poli identici, nelegaţi mecanic între ei. Întreruptorul este prevăzut cu un dulap agregat *13*, care este legat prin conducte de aer cu rezervoarele polilor *12*. Acţionarea fiecărui pol al întreruptorului se realizează cu ajutorul unor dispozitive pneumatice (supape cu piston de deschidere şi închidere, de reţinere, evacuare etc.) şi a unor dispozitive electrice (electromagneţi de închidere şi deschidere,

Tabelul 4.6

Caracteristicile tehnice şi parametrii de funcţionare ai întreruptoarelor de tip VVN

Nr. crt.	Denumirea parametrului	Valoarea	
		VVN 110–T6	VVN 220–T10
1	Tensiunea nominală, kV	110	220
2	Tensiunea maximă, kV	126	252
3	Curent nominal, A	2000	2000
4	Puterea nominală de rupere, MVA	6000	10000
5	Frecvenţa nominală, Hz	50	50
6	Curent nominal de rupere, kA	31,5	26,2
7	Amplitudinea curentului maxim de scurtcircuit, kA	80	67
8	Curentul de stabilitate termică 0,3s	31,5	26,2
9	Tensiunea nominală a electromagneţilor, V	220	220
10	Presiunea maximă a aerului comprimat, at	21	21
11	Timpul de închidere a întreruptorului din momentul cînd s-a dat comanda de închidere pînă în momentul în care s-au închis contactele separatorului, s	0,25	0,25
12	Timpul de deschidere a întreruptorului din momentul în care s-a dat comanda de deschidere pînă în momentul în care arcul a fost stins definitiv, s	0,07	0,08
13	Timpul propriu de deschidere din momentul în care s-a dat comanda de deschidere pînă în momentul în care contactele camerei sînt separate, s	0,05	0,06
14	Durata maximă a arcului, s	0,02	0,02

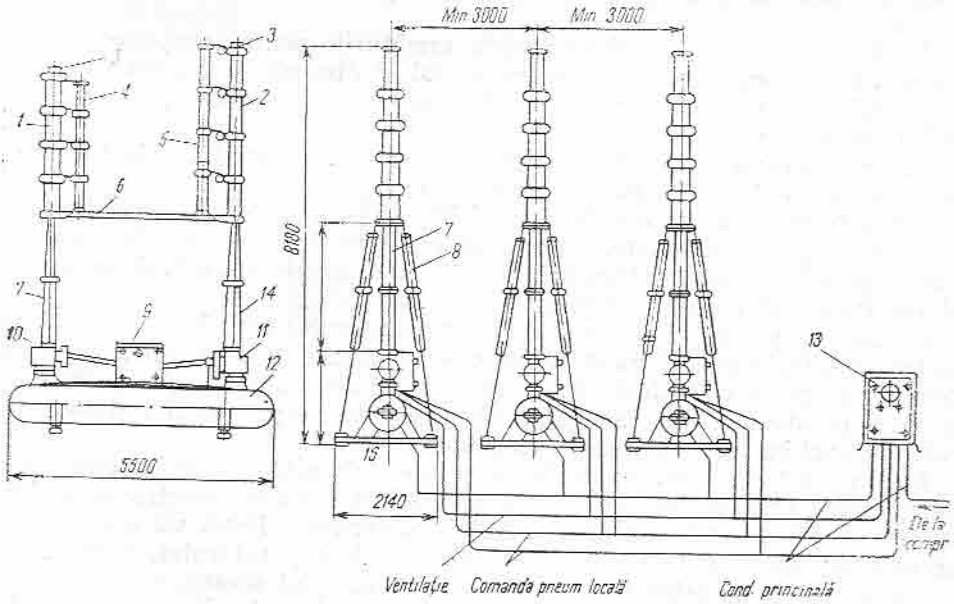


Fig. 4.30

bloc contact de semnalizare etc.), majoritatea elementelor schemei de comandă a polului fiind amplasate în dulapul de comandă al polului *9*.

Datorită faptului că fiecare pol are o schemă proprie de comandă, se asigură atît posibilitatea de acţionare monofazată, cît şi trifazată a întreruptorului, în regim normal de funcţionare şi pentru RAR.

Rezervoarele de aer comprimat *12* se fixează pe fundaţie cu ajutorul unor picioare de susţinere. Pe rezervoare sînt amplasate supapele camerei *10* şi supapele separatorului *11*, avînd montate pe ele izolatoarele *7* şi respectiv *14* ce formează totodată şi suportul pentru camerele de stingere şi separatoare, şi conductele prin care aerul comprimat se distribuie în camera de stingere *1* şi la separatorul *2*.

Camera de stingere şi separatorul pentru un pol sînt formate din patru elemente identice la întreruptorul VVN 220—T10 şi două elemente la fel cu cele de la VVN 220 la întreruptorul VVN 110—T6.

Întreruptorul VVN—T10 are montate în paralel cu elementele camerei de stingere un divizor ohmic de tensiune *4* şi, în paralel cu elementele separatorului, un divizor capacitiv de tensiune *5*. Aceste divizoare de tensiune au rolul să egalizeze distribuţia tensiunii între diferitele elemente ale camerei de stingere şi separatorului pentru toate regimurile de funcţionare, şi la întreruptorul VVN—110—6 se utilizează divizoare ohmice şi capacitive de tensiune.

La toate întreruptoarele, elementele camerei de stingere şi separatorului fiecărui pol se leagă în serie cu ajutorul barelor de legătură *6*. Bornele întreruptorului sînt notate cu *3*.

Pentru asigurarea unei rezistenţe mecanice suficiente a izolatoarelor de susţinere, la întreruptorul VVN—220—10 se utilizează tiranţii *8*, confecţionaţi din izolatoare de porţelan (la întreruptorul VVN—110 nu se utilizează).

În dulapul agregat *13* sînt montate armăturile pentru umplerea cu aer comprimat a rezervoarelor întreruptorului şi dispozitive pentru controlul presiunii, precum şi cleme pentru realizarea legăturilor comutaţiei secundare a întreruptorului.

Pentru prevenirea umezirii interioare, ca urmare a condensării, întreruptorul este prevăzut cu un sistem de ventilaţie.

Atît întreruptorul VVN—T6 cît şi VVN—T10 sînt asamblate din subansamble identice. Deosebirea între aceste întreruptoare constă în numărul diferit de subansamble trifazate şi detalii, în dimensiunile subansamblurilor şi rezervoarelor de aer comprimat.

Schema de principiu de comandă a întreruptorului tip VVN este arătată în figura 4.31. Poziţia elementelor schemei de comandă corespund întreruptorului în poziţia cuplată. În acest caz, contactele camerei de stingere şi ale separatorului sînt închise, iar în elementele separatorului şi coloanei sale de sprijin nu există aer comprimat.

La deconectarea întreruptorului, în camera de stingere se introduce aer comprimat; prin aceasta contactele se deschid, iar arcul electric ce se formează se stinge sub acţiunea aerului comprimat. După un scurt timp, aerul comprimat se introduce şi în elementele separatorului, îi deschide contactele şi le menţine în această poziţie. În felul acesta, cum distanţa dintre contactele separatorului asigură întreruperea circuitului, se opreşte admisia aerului comprimat în camera de stingere şi contactele principale

se închid. La închiderea întreruptorului, aerul comprimat iese din spaţiul separatorului şi, datorită acestui fapt, contactele sale se închid, întreruptorul trecînd în poziţia cuplat.

Comanda întreruptoarelor se poate realiza numai de la distanţă. Adaptarea unei comenzi de la faţa locului este interzisă, pentru a se preîntîmpina închiderea întreruptoarelor pe defect şi producerea unui accident în cazul exploziei întreruptorului, datorită nefuncţionării protecţiei sau altor cauze.

În cele ce urmează se prezintă funcţionarea în detaliu a întreruptorului, pe baza schemei sale de principiu.

Pentru declanşarea de la distanţă, impulsul electric de declanşare se dă de la punctul de comandă prin cheia de comandă sau prin releele de protecţie. Se închide astfel circuitul electromagnetului de decuplare *ED* şi percutorul său acţionează asupra supapei de comandă *1* (ventil de pornire), deschizînd totodată supapa de admisie a decuplării *2*. Aerul comprimat care pătrunde prin supapa de admisie *2*, acţionează asupra pistonului supapei de declanşare *3*. Prin deplasarea acestuia, aerul comprimat trece la supapa camerei *4* şi o deschide, acţionînd asupra pistonului său. La deschiderea supapei *4*, aerul comprimat din rezervoare trece prin coloana

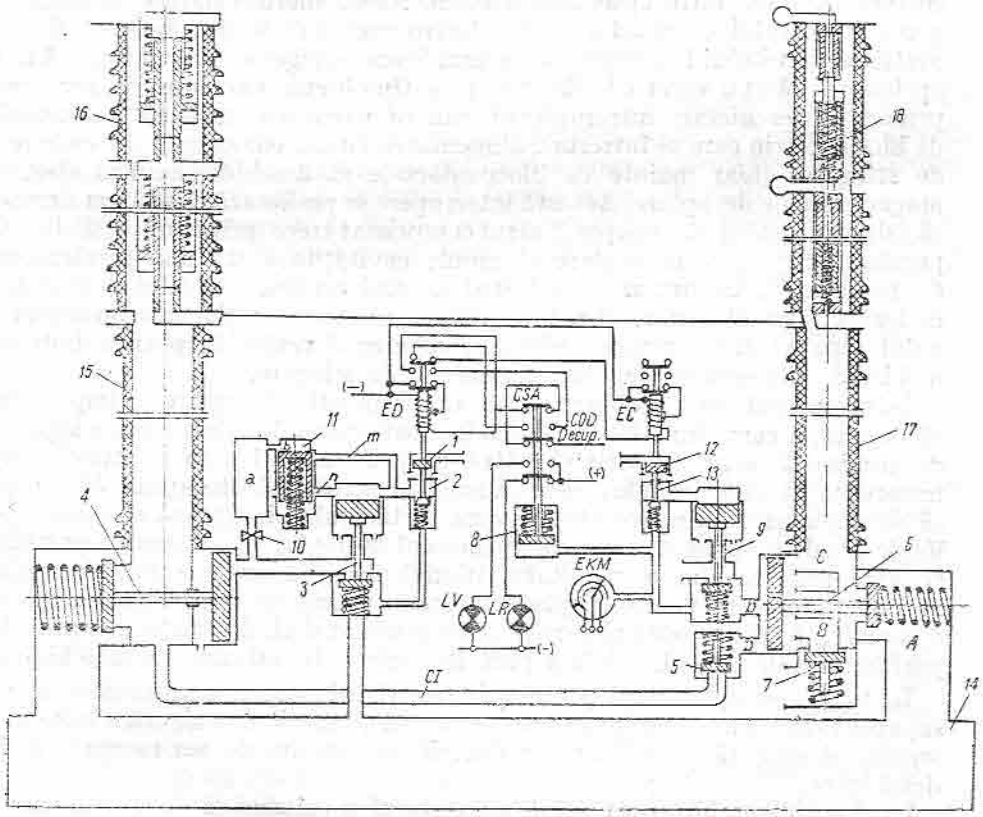


Fig. 4.31

de sprijin *15* (izolatorul suport al camerei) în camera de stingere *16* şi, cînd presiunea atinge aici o valoare bine determinată, se deschid contactele, stingînd totodată arcul ce se formează. Produsele de ardere apărute în urma arcului în spaţiile interioare ale camerei de stingere se îndepărtează sub acţiunea fluxului de aer comprimat. După deschiderea supapei *4*, prin ţevile de impuls *CI*, o parte din aerul comprimat se îndreaptă spre supapa de reţinere *5* şi pătrunde în cavitatea *D* a supapei separatorului *6*, care deschizîndu-se permite aerului comprimat din rezervorul întreruptorului *14* să pătrundă prin coloana suport *17* a acestuia în spaţiul separatorului *18*. Pistonul supapei *6*, prin deplasare, ocupă o astfel de poziţie (limită), încît împiedică pătrunderea aerului din cavitatea *A* şi *C* în cavitatea *B*, legată prin supapa de evacuare cu atmosfera. Poziţia arătată poate fi ocupată datorită diferenţelor de presiune în cavităţile *D* (presiune înaltă) şi *B* (presiune apropiată de cea atmosferică).

Contactele mobile ale separatorului la sfîrşitul cursei ocupă o poziţie bine determinată şi realizează spaţiul de izolaţie al separatorului în atmosferă. Aerul comprimat care pătrunde în spaţiul *9* al supapei separatorului *6*, ajunge, de asemenea, şi în dispozitivul pneumatic de comandă a bloccontactelor *8*; aici, aerul comprimat, deplasînd pistonul şi comprimînd resortul, produce schimbarea poziţiei bloccontactelor şi menţinerea lor în poziţia corespunzătoare întreruptorului deschis. Acest lucru conduce la întreruperea impulsului de deschidere la electromagnetul de deschidere *ED*, comutarea circuitului la lămpile de semnalizare, stingerea lămpii roşii *LR* şi aprinderea lămpii verzi *LV*. Pentru preîntîmpinarea excesului de aer comprimat la deschidere, întreruptorul este prevăzut cu un sistem pneumatic de blocare, prin care se întrerupe alimentarea cu aer comprimat în camerele de stingere, chiar înainte ca bloccontactele să deschidă circuitul electromagnetului de decuplare. Această întrerupere se realizează după cum urmează: după deschiderea supapei *3*, aerul comprimat trece printr-un orificiu *10*, prevăzut cu un ac de reglare şi umple cavităţile *a* şi *b* ale sertăraşului de blocare *11*. Ca urmare a mişcării acestui sertăraş, canalul *n* se pune în legătură cu atmosfera şi prin el iese aerul care a acţionat asupra pistonului supapei *3*. Ca urmare, pistonul supapei *3* revine în poziţia iniţială, închizînd alimentarea cu aer a camerei de stingere.

Întreruptorul este prevăzut şi cu un dispozitiv de oprire a impulsului blocajului, a cărui funcţionare se dă în continuare. La deschiderea supapei de admisie *2*, aerul comprimat pătrunde prin canalul *n* care, atunci cînd întreruptorul este decuplat, este obturat şi sertăraşul blocajului *11* începe să se deplaseze. Prin aceasta, asupra sertăraşului începe să acţioneze pe lîngă aerul comprimat, care vine prin acul de reglaj *10* şi aerul comprimat ce vine prin canalul *n*, rezultatul fiind deplasarea sertăraşului blocajului *11*; menţinerea în poziţia deplasată este în funcţie de umplerea completă a cavităţii *b* cu aer comprimat, pînă în momentul cînd supapa *2* revine în poziţia iniţială „închis", adică pînă la oprirea impulsului de deschidere.

În felul acesta, blocajul pneumatic permite limitarea duratei deschiderii supapei camerei între limite suficiente pentru o funcţionare sigură a întreruptorului şi creează posibilitatea reducerii consumului de aer comprimat la deschidere.

La deschiderea întreruptorului, separatorul şi coloana sa de sprijin rămîn umplute cu aer comprimat, contactele separatorului fiind deschise şi men-

ţinute în această poziţie de aerul comprimat (resoartele de la contacte fiind comprimate). Supapa separatorului *6* are pistonul deplasat şi nu permite ieşirea aerului comprimat în atmosferă. Această poziţie se menţine datorită existenţei aerului comprimat în cavitatea *D* a supapei *6*, în camera supapei *9* şi sub pistonul dispozitivului de comandă al bloccontactelor. Resortul pistonului fiind comprimat pistonul se află într-o poziţie determinată de acţiunea aerului comprimat, iar contactele bloccontactelor *8* sînt închise în poziţia pentru asigurarea alimentării electromagnetului de închidere *EC*.

La anclanşarea întreruptorului, impulsul se dă prin cheia de comandă sau de la RAR, închizîndu-se circuitul electromagnetului de cuplare. Percutorul electromagnetului acţionează asupra pistonului supapei *12*, deschizînd totodată supapa de admisie la cuplare *13*. În felul acesta, aerul comprimat din cavitatea *D* a supapei separatorului *6* şi restul cavităţilor de la supapele *9* şi *8*, intră în partea superioară a supapei de cuplare *9*, deplasînd pistonul acesteia (supapa *9* este o supapă diferenţială).

Prin deschiderea supapei de cuplare *9*, aerul comprimat iese din spaţiul *D* al supapei *6*. În momentul cînd presiunea în cavitatea *D* devine mai mare ca în cavitatea *B*, pistonul supapei *6* se deplasează oprind accesul aerului comprimat din rezervor (prin cavitatea *A*) în separator şi, totodată, permiţînd ieşirea aerului din coloana separatorului (prin cavitatea *B* care are o supapă *7* ce comunică cu atmosfera).

Prin scăderea presiunii în elementele separatorului, sub acţiunea resorturilor, contactele acestuia se închid, închizînd astfel circuitul. În acelaşi timp, aerul este evacuat şi de la dispozitivul de comandă al bloccontactelor *8* şi pistonul deplasîndu-se comută contactele. Prin acc opreşte impulsul de cuplare la electromagnetul de cuplare şi se comută constant de semnalizare : se stinge lampa verde şi se aprinde lampa roşie. de străpu

Toate întreruptoarele de tipul VVN cu separatori de 2 ut cu aer permit realizarea unei cuplări automate repetate, realizîndu- implă alternanţă a operaţiei de decuplare şi cuplare. Pauza minimă de urent (pauza RAR) ce se admite este de 0,3 s.

În afară de tipurile VVN prezentate mai sus s-au realizat întreruptoare de acelaşi tip şi pentru tensiuni mai mari de 220 kV.

C. Întreruptoare cu hexafluorură de sulf (SF_6)

În întreruptoarele de înaltă tensiune, în ultimii 50 de ani, s-a folosit ca agent de stingere uleiul şi aerul comprimat. Nu de mult a început să se folosească şi hexafluorura de sulf care devine astfel al treilea mediu de stingere.

Hexafluorura de sulf (SF_6) cu proprietăţile sale remarcabile, atît ca dielectric, cît şi ca agent eficace de stingere a arcului electric are astăzi largi utilizări la aparatele de întrerupere de înaltă şi foarte înaltă tensiune, ea reunind în acelaşi timp caracteristicile bune ale uleiului şi ale aerului comprimat, fără să prezinte inconvenientul inflamabilităţii, a riscurilor de explozie etc.

Cu toate că nu există nici un gaz cu o conductivitate termică comparabilă cu cea a lichidelor izolante, SF_6 constituie, din acest punct de vedere, o ameliorare netă în raport cu aerul, această proprietate permiţînd să

se evacueze rapid căldura din zona arcului în timpul şi după întrerupere.

SF_6 se amestecă cu aerul în orice proporţii, ceea ce face ca prezenţa chiar a unei cantităţi mici de aer să nu dea naştere la zone cu caracteristici diferite, ci la un amestec uniform, ceea ce reprezintă un avantaj pentru funcţionarea întreruptoarelor. Chiar în amestec important cu aerul, SF_6 prezintă încă o capacitate de stingere însemnată.

Proprietăţile fizice ale SF_6. Acest compus chimic a fost obţinut pentru prima dată în anul 1900 prin acţiunea directă a fluorului sub formă de gaz asupra sulfului. Fluorul însuşi a fost izolat pentru prima dată ca element în 1886. Dar de abia în 1937 Charlton şi Cooper au propus folosirea SF_6 în construcţiile aparatelor electrice, constanta dielectrică a ei cunoscîndu-se încă din 1931. Fabricarea industrială a SF_6 a început însă de abia în 1947—1948.

Hexafluorura de sulf este un gaz inodor, incolor, inert, incombustibil şi netoxic. Este unul din cele mai grele gaze cunoscute. Greutatea sa specifică este la 20 °C şi 760 mm Hg, de 6,16 g/l, de circa 5 ori mai mare decît a aerului. Ca şi bioxidul de carbon, acest compus nu există în stare lichidă decît sub o anumită presiune.

La 70 °C căldura specifică a SF_6 este de $754 \frac{J}{(kg \cdot °K)}$ faţă de $1000 \frac{J}{(kg \cdot °K)}$ a aerului. dar întrucît SF_6 este de 5 ori mai grea decît aerul, căldura sa specifică pe unitate de volum este de 3,7 ori mai mare decît cea a aerului, ceea ce explică avantajele SF_6 cînd este folosit ca mediu de răcire.

Vîscozitatea sa în stare gazoasă la 21,1 °C este comparabilă cu cea a aerului. Conducţia sonică a SF_6 este slabă. Viteza sunetului în acest gaz la 30 °C şi presiune de 750 mm Hg este de 138,5 m/s, aproape o treime din viteza sunetului în aer.

Solubilitatea SF_6 în apă este practic neglijabilă, deci poate fi stocată uşor într-un rezervor cu apă. De asemenea, este foarte slabă solubilitatea sa în uleiul de transformator.

Proprietăţile chimice ale SF_6. Hexafluorura de sulf cu formula SF_6 corespunde valenţei maxime a sulfului. Structura sa moleculară este aceea a unui octaedru, cele şase vîrfuri fiind ocupate de atomi de fluor. Atomul de sulf este situat în centrul moleculei şi la distanţă egală de atomii de fluor. Această structură caracterizată prin şase legături covalente, explică stabilitatea excepţională a acestui compus chimic.

Hexafluorura de sulf nu se descompune decît începînd de la 500 °C. Hidrogenul încălzit cu SF_6 nu produce nici o acţiune. Oxigenul nu reacţionează cu SF_6 decît sub acţiunea unei scîntei de inducţie.

Descompunerea sa poate fi provocată de diferite metale şi uşurată de prezenţa umidităţii. Peste temperaturi de 150—200 °C se impune o alegere a materialelor, care sînt în contact cu SF_6. Metalele şi aliajele care se comportă bine (au o influenţă favorabilă) sînt următoarele: bronz fosforos, aluminiu, magneziu, argint, nichel, cupru şi plumb. Metalele şi aliajele care conţin siliciu se recomandă să fie evitate la temperaturi ridicate.

Sub descărcările corona sau sub efectul arcului electric, SF_6 suferă o uşoară descompunere, care nu afectează de altfel prea mult proprietăţile sale dielectrice. Se constată că în produsele descompunerii sînt fluoruri infe-

rioare ca S_2F_2 şi SF_2. Unele din acestea sînt toxice, dar se absorb foarte uşor de un filtru de alumină (Al_2O_3) plasat în aparat. Această alumină fixează în acelaşi timp umezeala şi contribuie la stabilizarea SF^9.

Hexafluorura de sulf se prepară prin sinteză, care constă în a face să acţioneze fluorul asupra sulfului. Prepararea se face prin calcinarea sulfului cu fluor. SF_6 se conservă în butelii de oţel obişnuite, la o presiune de ordinul de 20—25 daN/cm².

Proprietăţile dielectrice ale SF_6. Hexafluorura de sulf este un gaz electronegativ, adică are proprietatea de a absorbi electronii liberi din arcul electric şi a-i localiza în moleculele neutre. Se poate compara deci SF_6 cu un adevărat burete de electroni, capabil de a-i fixa sub formă de ioni negativi lenţi. Prin aceasta se reduce sarcina spaţială pozitivă lîngă electrod, iar tensiunea minimă de apariţie a arcului electric creşte.

Formarea de ioni explică excelenta rigiditate dielectrică a hexafluorurii de sulf cel puţin la joasă presiune. Pentru presiuni mai mari acest lucru este mai puţin exact.

În fine, stabilitatea chimică a hexafluorurii de sulf constituie în acelaşi timp un element favorabil în ceea ce priveşte rigiditatea dielectrică; acest compus îşi regăseşte repede proprietăţile sale după fiecare descărcare electrică şi se produce o recombinare rapidă, mai mult sau mai puţin însemnată, a radicalilor liberi sau a produselor descompunerilor. Aceste proprietăţi permit ca spaţiul de arc să-şi refacă rigiditatea dielectrică cu o viteză mare. La presiunea atmosferică această viteză de refacere a rigidităţii dielectrice este de 100 ori mai mare decît cea a aerului. Ca izolant SF_6 se compară cu uleiul la o presiune de 1 atm: rigiditatea sa dielectrică este egală cu cea a uleiului şi de 3 ori mai mare decît cea a aerului.

Molecula SF_6 nu are moment bipolar ceea ce face ca constanta sa dielectrică să nu varieze cu frecvenţa curentului. Tensiunea de străpungere a gazului SF_6 la o distanţă dintre contacte de 5 cm este de 2—3 ori mai mare decît aceea a aerului.

Proprietăţile de stingere ale gazului SF_6. Puterea de stingere a SF_6 la presiunea atmosferică este de 100 ori mai mare decît a aerului în aceleaşi condiţii. Cauza principală a acestei calităţi este afinitatea moleculelor sale pentru electronii liberi la care se adaugă şi caracteristicile sale termice, care sînt la fel de determinante.

Rigiditatea dielectrică a unui gaz se poate mări pe două căi: fie printr-o micşorare a densităţii de electroni, fie prin mărirea densităţii gazului. După datele din literatură asupra acestei probleme, reiese că dacă ordinul de mărime a densităţii de electroni în urma apariţiei tensiunii de restabilire nu depăşeşte $10^9/cm^3$ indiferent de condiţiile mediului ambiant (ca ionizare, ridicarea temperaturii etc.) reaprinderea arcului nu se mai produce.

Sînt agenţi buni de stingere, gazele ale căror caracteristici fizice permit ca temperatura din zona arcului să scadă repede, la trecerea curentului prin zero, sub temperatura la care densitatea de electroni este egală cel mult cu $10^9/cm^3$ şi care se numeşte temperatură de stingere.

Gazul SF_6 este, cum s-a spus mai sus, un gaz electronegativ. Moleculele sale au particularitatea, într-o mare măsură, de a prinde şi absorbi electronii lenţi. Acest efect este activ pînă la temperaturi de cîteva mii de grade Kelvin.

Odată cu creşterea temperaturii arcului, la circa 5000 °K, moleculele gazului SF_6 se descompun tot mai mult în elementele lor atomice. În

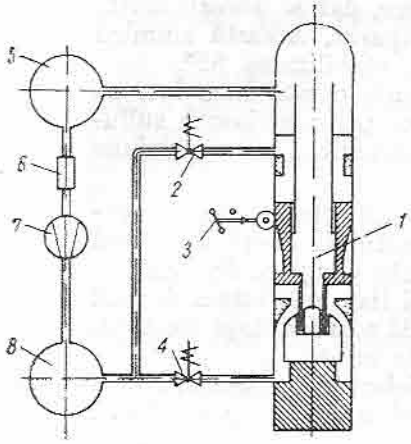


Fig. 4.32

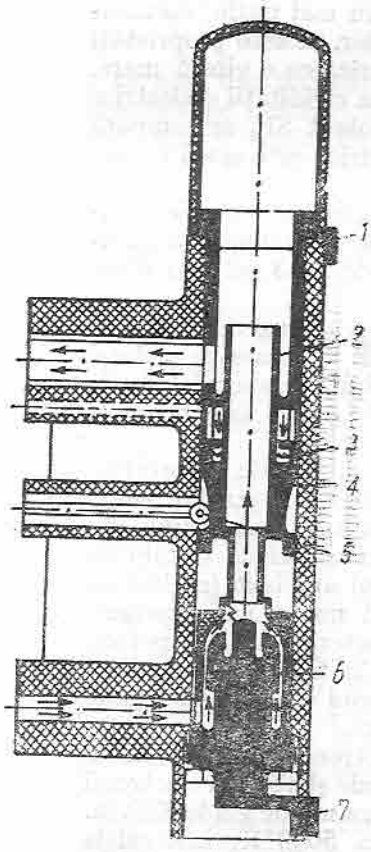


Fig. 4.33

afară de aceasta, fixarea electronilor pe atomi şi molecule devine tot mai puţin probabilă. De aici şi atragerea electronilor pentru procesul propriu-zis de stingere pierde din însemnătate.

Întreruptoare cu hexafluorură de sulf tip „F" pentru tensiuni medii produse de firma Siemens. În aceste tipuri de întreruptoare hexafluorura de sulf are rolul de agent de izolare, de mediu de stingere şi agent de acţionare, atît la deschidere, cît şi la închidere. În figura 4.32 este reprezentat schematic un pol al întreruptorului cu circuitul de gaze. Circuitul de gaze lucrează la două presiuni: 15 at şi 3 at şi este comun celor trei poli.

Camerele de stingere *1* sînt construite sub formă de camere tubulare şi amplasate în partea din spate a carcasei întreruptorului. Carcasa întreruptorului conţine şi rezervoarele de joasă presiune *5*, rezervoarele de înaltă presiune *8* şi dispozitivele de comandă şi auxiliare.

La deschidere este acţionată electrovalva de declanşare *4* şi gazul la înaltă presiune din rezervorul *8* pătrunde în spaţiul inferior al camerei de stingere *1*, împingînd piesa de întrerupere mobilă în sus, în poziţia deconectat. Prin aceasta, gazul trece prin ajutajul de stingere şi deionizează intens spaţiul de întrerupere, la trecerea prin zero a curentului. În acelaşi timp, se restabileşte o rigiditate dielectrică mare a spaţiului de întrerupere. Din partea superioară a camerei de stingere gazul pătrunde în rezervorul de joasă presiune *5* de unde, după ce trece prin filtrul *6*, este repompat cu ajutorul compresorului *7* în rezervorul de înaltă presiune *8*.

La închidere, este acţionată electrovalva de anclanşare *2* şi gazul din rezervorul *8*, pătrunzînd de astă dată în partea superioară a camerei de stingere, împinge în jos contactul mobil care astfel pătrunde în contactul fix tubular şi închide circuitul. Poziţia întreruptorului este semnalizată de piesa *3*.

În figura 4.33 este reprezentată o secţiune printr-o cameră de stingere. Camerele de stingere sînt din răşină sintetică, flanşele acestora conţinînd canalele de aducţiune şi de evacuare ale gazelor. În partea inferioară se găseşte contactul fix *6*, care este legat rigid cu piesa de racordare inferioră *7* a întreruptorului. În această piesă pătrunde contactul tubular mobil *4*.

Contactul mobil are forma unui piston. Acest piston se deplasează de-a lungul axului său pe un tub de ghidaj *2*. Tubul de ghidaj este legat de piesa de racord superioară *1* a întreruptorului. Curentul este condus prin contacte inelare *3* de la piston la tubul de ghidaj. Contactul fix şi cel mobil, precum şi piesele aferente cu rol de ajutaje alcătuiesc diapozitivul de stingere. Contactul tubular şi vîrful de uzură al contactului fix sînt executate din metale rezistente la acţiunea arcului electric (wolfram-cupru).

Stingerea arcului are loc datorită suflajului ce se produce la depărtarea contactului mobil de cel fix, cînd hexafluorura de sulf sub presiune trece pe lîngă contactul fix, prin interiorul contactului mobil, spre partea superioară a camerei de stingere. În acest fel are loc un suflaj longitudinal intens al arcului, concomitent cu deplasarea piciorului arcului pe partea interioară a contactului mobil.

Piesa *5* serveşte la semnalizarea poziţiei întreruptorului.

Acest întreruptor face faţă tuturor solicitărilor ce apar în reţelele de tensiuni medii: curenţi de scurtcircuit, opoziţie de fază, curenţi capacitivi.

Timpii de stingere sînt deosebit de mici, înscriindu-se între 7 şi 17 ms. Timpul total de deconectare este de 47 şi 57 ms.

Circuitul închis de gaze prezintă avantaje pentru funcţionarea acestor întreruptoare. În primul rînd, nu sînt necesare distanţe de siguranţă suplimentare pentru agenţii de stingere evacuaţi.

Staţiile de conexiune construite cu aceste întreruptoare ocupă suprafeţe de teren mici. Deoarece şi debitul de gaze este foarte mic, pentru fiecare manevră de întrerupere, nu apar trepidaţii la deconectarea curenţilor de scurtcircuit. Întreruptorul se mai remarcă, de asemenea, prin faptul că produce un zgomot slab.

Întreruptorul Siemens „F — H — 904" pentru 202 kV. Întreruptorul H—904 are trei poli, independenţi mecanic unul de altul. Fiecare pol are căruciorul său propriu, pe care sînt prevăzute două coloane-suport, care poartă fiecare cîte două camere de stingere identice (fig. 4.34). Pentru o distribuţie uniformă a tensiunii pe camerele *1* sînt conectate, în paralel cu fiecare pereche de contacte, condensatoarele *2*. Fiecare coloană suport izolează faţă de pămînt cele două camere de stingere pe care le susţine. Fiecare coloană constă din două izolatoare de porţelan poliecranate, dispuse unul deasupra celuilalt, avînd la partea superioară un cap de distribuţie *3*. În interiorul acestuia sînt montate legătura mecanică, prin pîrghii, dintre contactele de întrerupere şi dispozitivul de acţionare pneumatic.

Acest sistem mecanic de acţionare asigură un mers uniform al tuturor contactelor mobile ale polului. Fiecare pol al întreruptorului conţine un circuit de gaz SF_6 ca mediu de stingere şi izolare, cu două trepte de presiune.

La conectare, prin acţionarea comutatorului de comandă, fie de la cofret, fie de la tabloul de comandă, aerul comprimat pătrunde în cilindrii mecanismului de acţionare. Mişcarea pistoanelor se transmite la piesele mobile de întrerupere prin tija izolantă *7* şi printr-un sistem de pîrghii, aducînd piesele în poziţie de contact. În acelaşi timp se comprimă şi resorturile de deconectare *6* pentru manevra de deconectare.

Comanda de deconectare se dă, fie prin comutatorul de comandă, fie direct prin releele (dispozitivul) de protecţie ale reţelei. Bobina de declanşare eliberează resorturile de deconectare. Acestea deplasează piesele mobile

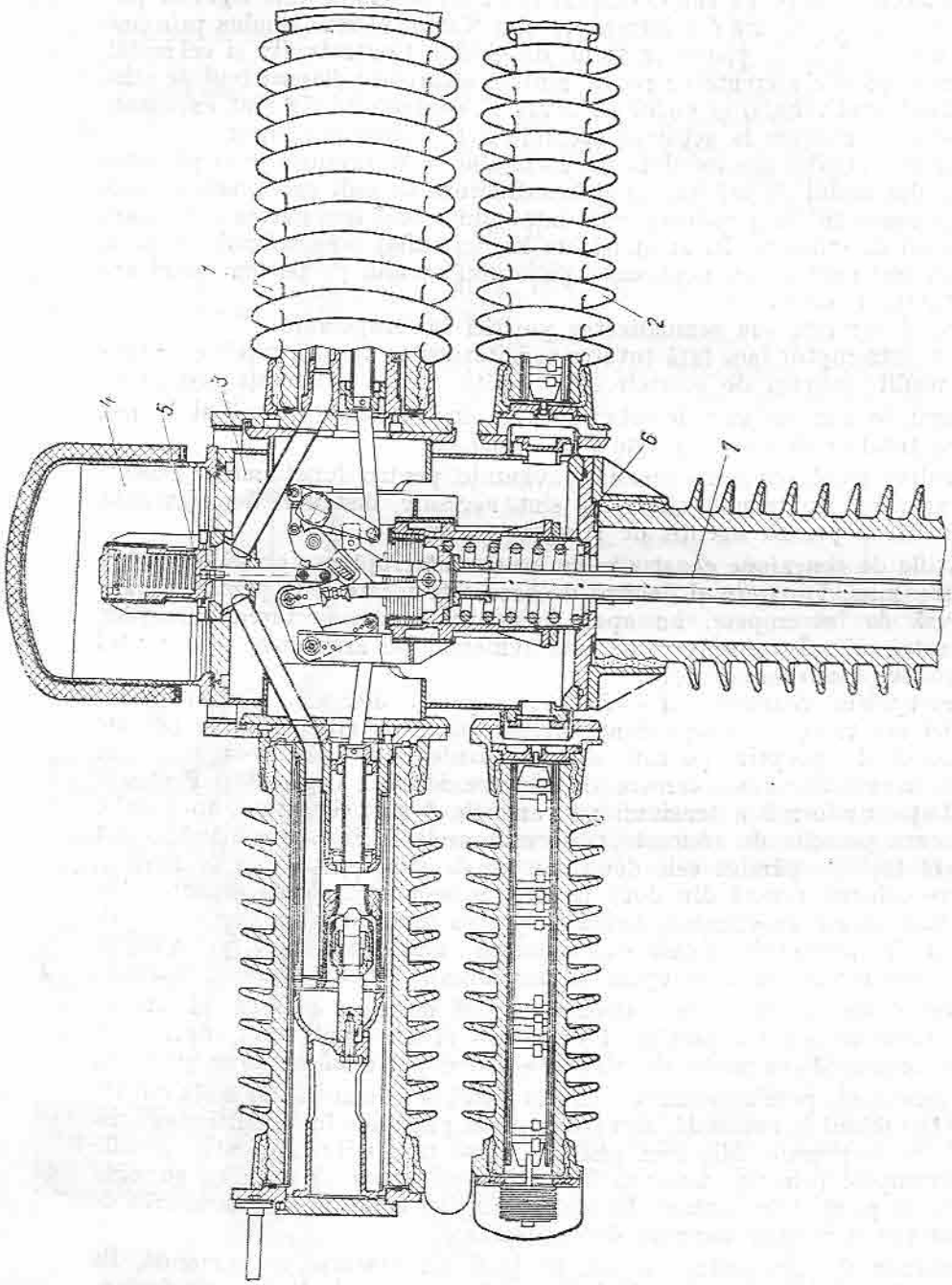


Fig. 4.34

de contact în poziţia de deconectare. Totodată, se deschid şi ventilele de suflare *5* dispuse în fiecare cameră de stingere. Gazul SF_6 trece din rezervorul *4* la duzele de stingere şi provoacă stingerea arcului. Un compresor pompează automat gazul SF_6 din camera de joasă presiune înapoi în rezervorul de înaltă presiune.

Întreruptorul cu hexafluorură de sulf tip ECK produs de firma BBC. Acest tip de întreruptor este construit pentru a funcţiona în instalaţii capsulate cu hexafluorură de sulf de tensiuni 170 pînă la 500 kV.

Întreruptorul are una pînă la trei camere de stingere în serie în funcţie de tensiunea nominală şi puterea de rupere. Spaţiul izolant în poziţia deschisă se realizează cu ajutorul unei camere cu contacte separator, care are şi rolul de a rupe curentul rezidual prin elementele de uniformizare a tensiunii pe camerele de stingere. Închiderea se face cu ajutorul acestei camere. Întreruptorul poate fi montat vertical sau orizontal. În figura 4.35 este reprezentată o secţiune printr-un întreruptor cu două camere de stingere montate orizontal. Camerele de stingere *1* şi camera cu contactele separator *2* montate pe suporţi izolanţi se află în interiorul unui blindaj metalic cilindric. Suporţii izolanţi tubulari leagă camerele de stingere cu rezervorul tubular *3* de înaltă presiune de SF_6 aflat deasupra blindajului cilindric. Dispozitivul de comandă şi acţionare se află într-un corp racordat în partea frontală a întreruptorului. Bornele *5* ale întreruptorului sub formă de fişă permit o racordare comodă. Presiunea necesară realizării izolaţiei faţă de blindaj şi pentru stingere este controlată de manostatele *6* şi *7* (7 este un manostat diferenţial) care acţionează direct asupra elementelor de comandă.

Pentru închiderea întreruptorului se foloseşte numai camera cu separator (contactele camerelor de stingere fiind închise). Prin comanda bobinei dispozitivului de anclanşare *8*, gazul sub presiune mare acţionează pistonul de acţionare al camerei separator, deplasînd contactul tubular prin intermediul unei tije izolante *9*. În timpul deplasării, spaţiul dintre contacte este

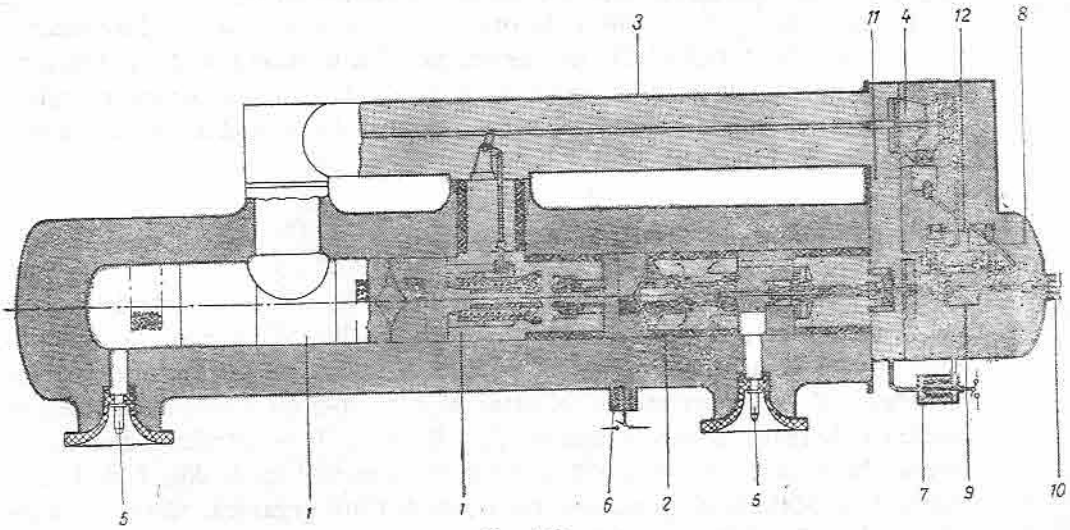


Fig. 4.35

spălat de un curent de gaz care diminuează efectele arcului ce apare la închidere. La sfîrșitul cursei, contactul este menținut în poziția închisă de un resort. Poziția întreruptorului este indicată de dispozitivul *10*.

La deschidere este acționată bobina dispozitivului de declanșare *11*. În acest mod, dispozitivul de acționare a valvelor *4*, prin intermediul unei tije, deschide valvele care comandă admisia gazului sub presiune pe pistoanele de acționare a camerelor de stingere. Aceste pistoane deschid supapele de suflaj dispuse în jurul dispozitivelor de contact și care separă niște contacte tubulare de stingere. Înainte de separarea contactelor principale curentul este comutat prin aceste contacte tubulare, în acest mod protejîndu-se contactele principale de acțiunea arcului. Gazul trece prin aceste contacte tubulare producînd un suflaj și ajunge în interiorul blindajului cilindric al întreruptorului. Un dispozitiv pneumatic *12* asigură deschiderea cu temporizare a contactelor din camera separator.

După deschiderea acestor contacte, contactele camerelor de stingere se închid în mod automat. Rezervorul de gaz conține o cantitate necesară unei succesiuni închidere-deschidere după care gazul este pompat din blindajul cilindric de către un compresor și trimis din nou în rezervor prin niște filtre care absorb produsele de descompunere și umiditatea gazului.

Această serie de întreruptoare pentru tensiuni de la 170 kV la 300 kV realizează puteri de rupere de 7500 pînă la 25000 MVA.

Dezvoltarea tehnologică din ultimii ani a permis să se treacă la construcția unor posturi de înaltă tensiune cu hexafluorură de sulf în întregime capsulate în care pot fi integrate întreruptoarele capsulate prezentate mai sus (fig. 4.36 și 4.37).

Se construiesc pentru tensiuni de la 145 kV pînă la 400 kV, curenți nominali de pînă la 400 A și curenți de rupere pînă la 63 kA.

Din punct de vedere economic, deși mai scumpe ca investiții, aceste instalații se justifică prin reducerea importantă a volumului de construcții și a spațiului ocupat. În plus, instalațiile capsulate nu pun problema poluării izolației sau perturbațiilor datorate condițiilor ambiante. Întreținerea lor este simplă și redusă. De asemenea, datorită acestor instalații compacte și independente de mediul ambiant, se poate face o organizare rentabilă a unei întregi rețele prin amplasarea convenabilă a nodurilor constituite din astfel de instalații.

D. Întreruptoare cu autogenerare de gaze

Sînt întreruptoare de serie ușoară folosite în instalații interioare, atît ca întreruptoare, cît și ca separatoare de sarcină. Principiul de funcționare constă în aceea că stingerea arcului se realizează cu ajutorul gazelor generate sub acțiunea arcului electric de către pereții camerei de stingere realizați din material gazogenerator. Suflajul poate fi longitudinal sau transversal după cum este realizată camera de stingere (fig. 4. 38), *1* și *2* fiind contactele. Materialul gazogenerator poate fi fibră organică, rășină ureoformaldehidice și sticlă organică.

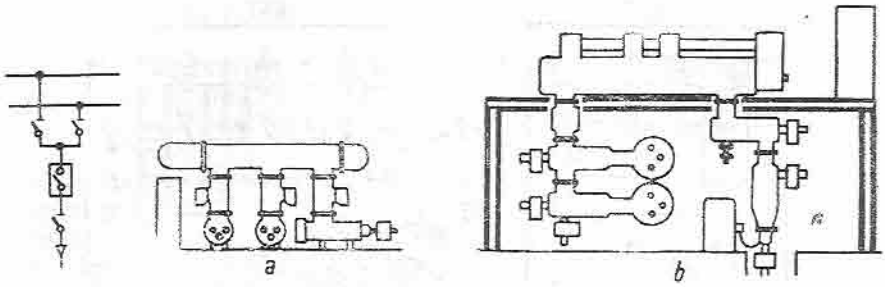


Fig. 4.36

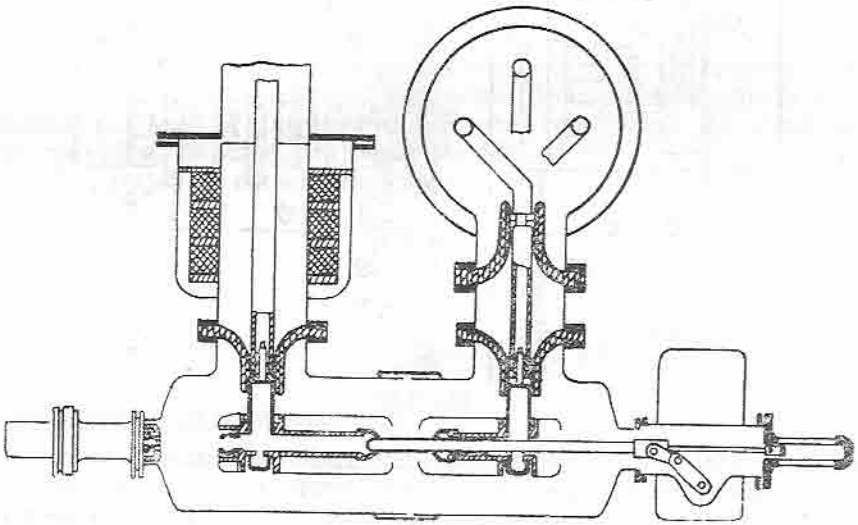


Fig. 4.37

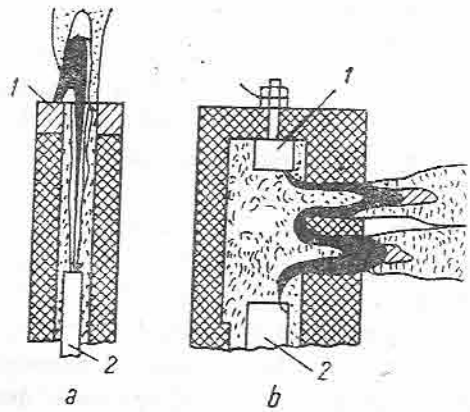


Fig. 4.38

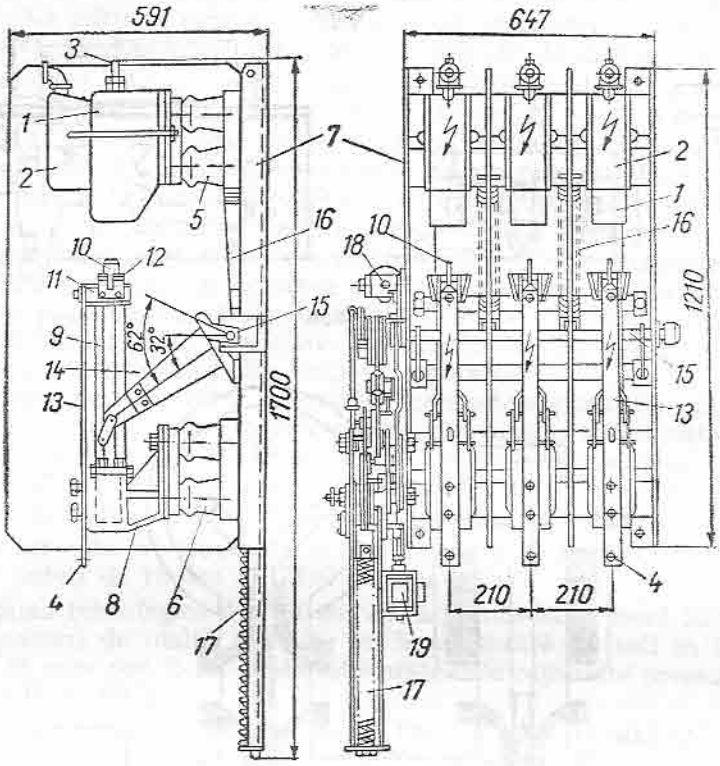


Fig. 4.39

În figura 4.39 este reprezentat un întreruptor cu autogenerare de gaze pentru 10 kV. Camera de stingere *1* realizează un suflaj transversal. Este montată pe izolatorul suport *5* împreună cu conductele de evacuare a gazelor *2* şi contactele fixe, montate în camere cu ajutorul tijelor *3*. În partea de jos a cadrului metalic comun *7* pe izolatoarele suport *6* se găsesc consolele *8*. Pe fiecare din aceste console sînt fixate două tije de ghidare *9* destinate deplasării contactului mobil tip cuţit *10*. Acest contact trece prin orificiul sabotului de alamă *11* pe care sînt fixate contactele alunecătoare *12*. Prin bara de cupru *13* se realizează legătura electrică cu borna *4*. De cuţitul mobil *10* se cuplează articulat o pîrghie izolantă *14* fixată pe axul *15*. De această pîrghie se fixează un capăt al resortului de deconectare *16*, celălalt capăt fiind fixat de cadrul metalic.

Întreruptorul se poate acţiona, atît manual cu ajutorul unui sistem cu pîrghii prevăzut cu resortul de deconectare *17*, cît şi de la distanţă prin intermediul electromagnetului *18* de deconectare şi *19* de conectare.

Principalul dezavantaj al acestor tipuri de întreruptoare este faptul că după un număr nu prea mare de deconectări adaosul generator de gaze trebuie înlocuit. De asemenea, nu pot fi realizate decît pentru instalaţii interioare. Ele se folosesc mai mult ca separatoare de sarcină.

E. Întreruptoare cu vid

Sînt tipuri de întreruptoare puţin folosite, dar cărora a început în ultimul timp să li se acorde multă atenţie. Caracteristic acestor întreruptoare este faptul că sistemul de contacte se află într-un vid înaintat (10^{-5}—10^{-6} mmHg). Principalele avantaje ale acestor întreruptoare sînt:

— cursa foarte mică a contactelor mobile (cîţiva milimetri);
— acţionarea rapidă;
— absenţa poluării, a pericolului de explozie sau incendiu;
— posibilitatea de a funcţiona la un larg diapazon de temperaturi ale mediul ambiant;
— volum şi greutate mică;
— stingere rapidă a arcului;
— funcţionare îndelungată fără reparaţii şi revizii.

Printre dezavantaje se numără intensitatea relativ mică a curenţilor întrerupţi, care nu trebuie să depăşească 4000—6000 A. Cu creşterea curentului nominal de rupere scade brusc numărul deconectărilor admisibile.

Curentul nominal al întreruptorului este condiţionat de construcţia camerei cu vid şi, de obicei, nu depăşeşte 600—1000 A. Prin folosirea unor contacte în paralel cu camera de stingere se poate mări valoarea acestui curent nominal.

În ceea ce priveşte tensiunea, camerele de stingere cu vid se realizează pentru tensiuni de la 3 pînă la 35 kV.

Curentul nominal relativ mic, precum şi tensiunile nominale de asemenea destul de mici au dus la folosirea acestor tipuri mai mult ca separatoare de sarcină, ajungîndu-se pînă la tensiuni de 500 kV.

F. Întreruptoare cu suflaj magnetic

La aceste tipuri de întreruptoare stingerea arcului se realizează prin deplasarea arcului sub acţiunea unui cîmp magnetic într-un dispozitiv de stingere unde are loc răcirea şi stingerea lui.

Există mai multe procedee de a realiza răcirea şi stingerea arcului în aceste dispozitive:

— răcirea coloanei ionizate a arcului prin deplasarea acestuia într-un canal îngust plan sub formă de fantă constituit din pereţii izolanţi ai camerei;

— răcirea prin convecţie a arcului ca urmare a întinderii şi deplasării cu viteză mare a arcului sub acţiunea cîmpului magnetic;

— divizarea arcului electric între plăci metalice izolate una de alta obţinîndu-se arcuri mici care se sting pe principiul arcului scurt.

Primele două moduri de răcire a arcului se realizează în întreruptoarele cu camere de răcire tip labirint cu fantă.

În figura 4.40 este reprezentat un întreruptor cu suflaj magnetic pentru 15 kV şi 1 200 A. Principiul de funcţionare constă în faptul că arcul electric, sub acţiunea cîmpului magnetic, intră într-o cameră de stingere cu plăci metalice (grătare deion), unde se împarte într-un şir de arcuri electrice scurte. Numărul de arcuri electrice rezultă dintr-un calcul, astfel încît tensiunea pe arc să nu fie mai mare de 250 V. Cu această condiţie, stingerea arcului va avea loc la prima trecere a curentului prin zero. Întreruptorul din

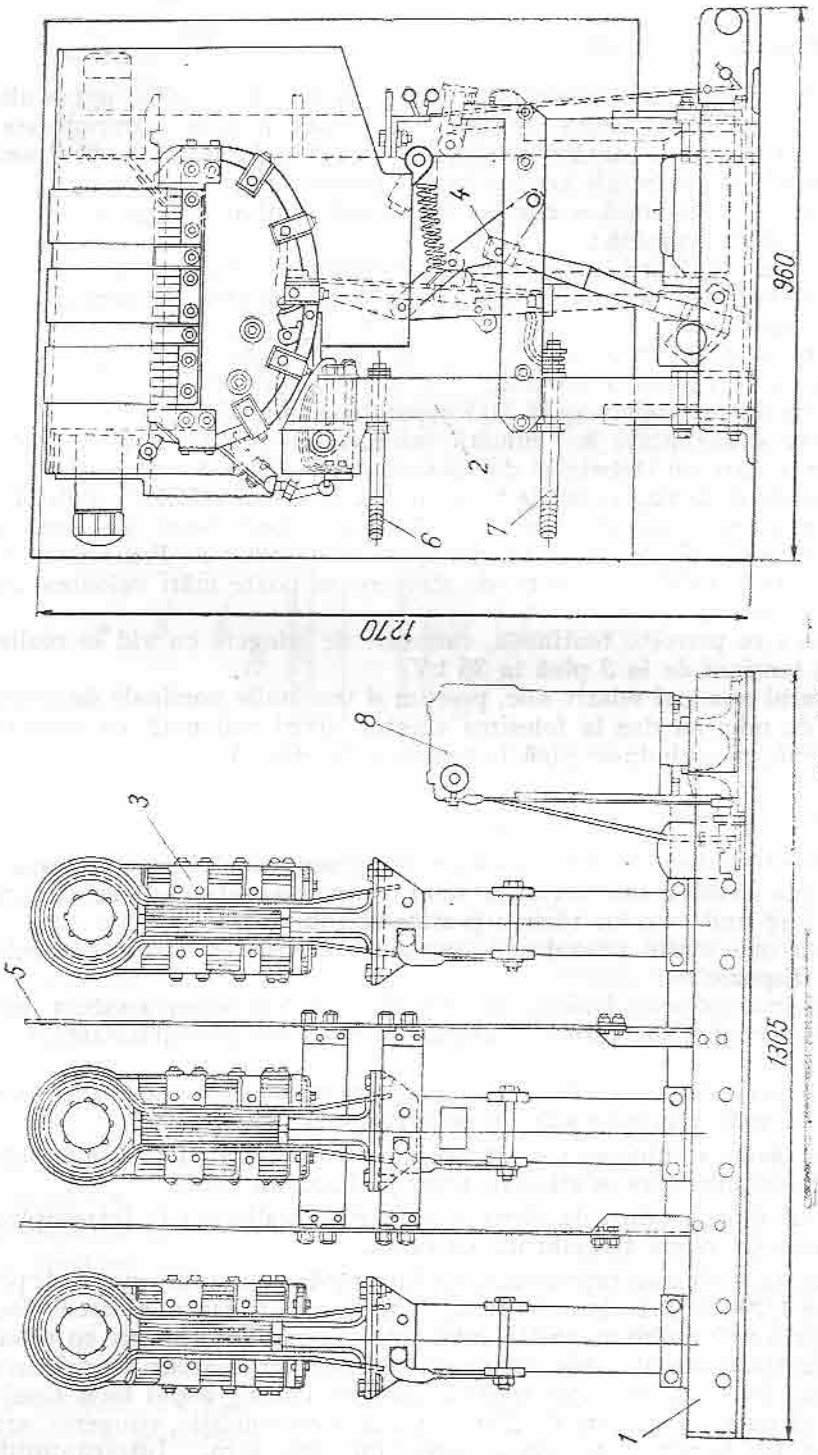


Fig. 4.40

figura 4.40 constă din: cadrul *1*; barele susținătoare *2*, confecționate din material izolant; camera de stingere *3*; mecanismul *4*, care pune în mișcare contactele mobile; peretele despărțitor izolant *5*; bornele *6* și *7*; dispozitivul de acționare *8*. Întreruptorul are două tipuri de contacte: principale și de stingere. Prezența contactelor principale permite ca acest tip de întreruptor să se realizeze pentru curenți nominali pînă la 5000 A.

Un alt tip de întreruptor cu suflaj magnetic, care folosește pentru stingere principiul arcului scurt, este prezentat în figura 4.41.

Camera de stingere se compune din mai multe plăci metalice *6* cu izolația *7*, conectate în serie cu bobinele *8* și fixate pe tubul izolator *9*. Fiecare placă metalică este prinsă la margini de o placă de oțel *5* izolată. Întreruptorul funcționează la deschidere în felul următor: arcul electric *10*, ce apare între contactele *1* și *2* care se deschid, este suflat pe coarnele speciale *3* și *4*, conectate cu plăcile marginale ale camerei de stingere. În continuare, arcul este suflat către plăci. Inițial suflajul arcului pe coarne este asigurat de forțele electrodinamice datorită curentului din arc și de mișcarea aerului cald. De pe coarne spre plăci suflajul este asigurat de cîmpul magnetic de atragere H_1 intensificat de plăcile de oțel. Cîmpul H_1 apare în circuitul conducător de curent (figurat cu săgeți continue, cu săgeți punctate este figurat circuitul cînd contactele *1* și *2* sînt închise. Cînd arcul este atras pe plăci divizîndu-se într-o serie de arcuri scurte, prin bobinele *8* trece un curent astfel că aceste bobine creează un cîmp radial H_2 care în interacțiunea cu curentul din arc provoacă rotirea arcului cu o viteză mare, răcind astfel plăcile și asigurînd o rigiditate dielectrică a spațiului lîngă catozi. Ca urmare la trecerea prin zero arcul se stinge și nu se mai reaprinde.

Condițiile de stingere și suflaj magnetic depind de valoarea curentului întrerupt. Numărul de plăci se calculează ținînd seama de căderea de tensiune pe arcul scurt pentru care acesta se stinge după trecerea prin zero (la plăci de cupru această cădere de tensiune este de 110...130 V). Întrucît, ținînd seam ade această condiție, la tensiuni peste 15 kV ar rezulta un număr prea mare de plăci aceste tipuri de întreruptoare nu depășesc această tensiune nominală.

La noi în țară, Electroputere se pregătește să asimileze un întreruptor cu suflaj magnetic tip „Solenarc". Stingerea arcului se realizează prin deionizarea gazelor prin răcire într-o cameră de stingere ce obligă arcul să ia forma unui solenoid. Camera de stingere are mai multe plăci refractare între care gazele se răcesc intens. Forma de solenoid a arcului este obținută cu ajutorul unor piese speciale.

Se construiesc pentru tensiuni de 6 pînă la 24 kV, curenți nominali de 400 pînă la 1250 A și puteri de rupere de 150 și 300 MVA.

În încheierea acestui paragraf referitor la tipurile

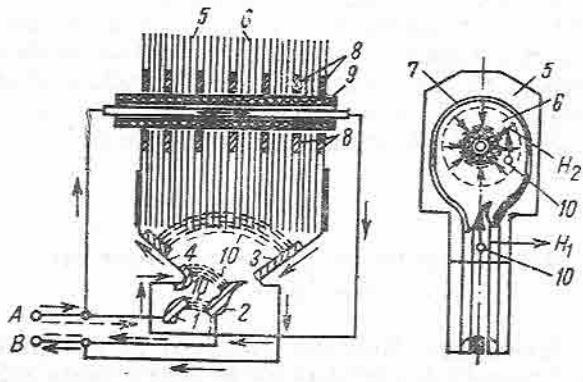


Fig. 4.41

constructive de întreruptoare se poate menţiona folosirea în ultimul timp a noţiunii de *întreruptor sincron*. Spre deosebire de întreruptoarele obişnuite, la care deschiderea contactelor în raport cu perioada sinusoidei curentului are loc într-un moment oarecare, arbitrar, ideea întreruptorului sincron constă în uşurarea stingerii arcului printr-o deschidere foarte rapidă a contactelor cu cîteva microsecunde înainte de trecerea curentului prin zero. Prin aceasta:

— se micşorează considerabil cantitatea de căldură degajată de arc;

— curentul întrerupt este de cîteva ori mai mic decît amplitudinea curentului de scurtcircuit din reţea şi trecerea lui este de scurtă durată — ceea ce are drept urmare uşurarea funcţionării contactelor şi micşorarea uzurii lor prin ardere.

Deschiderea foarte rapidă a contactelor se obţine cu ajutorul unei capse explozive, iar momentul exploziei acestei capse este asigurat de o schemă de sincronizare, cu cîteva microsecunde înainte de trecerea curentului prin zero.

Un astfel de întreruptor sincron poate avea una sau două perechi de contacte de stingere. O pereche de contacte, numite *nesincrone*, sînt destinate pentru ruperea curenţilor de lucru sau a curenţilor de scurtcircuit de valoare mică.

În serie cu ele se află o a doua pereche, numită *sincrone*, destinate ruperii curenţilor mari de scurtcircuit.

În paralel cu aceste două perechi de contacte se pot afla contactele principale prin care trece în regim normal curentul nominal al întreruptorului. În serie cu contactele principale şi de stingere se află un separator pentru asigurarea spaţiului de izolaţie. Întreruptorul funcţionează după cum urmează. La comanda de deschidere se deschid contactele principale şi tot curentul trece prin contactele de stingere. Urmează deschiderea contactelor nesincrone care încearcă să stingă arcul ce a apărut între ele. Dacă curentul este suficient de mic arcul este stins. După două semiperioade de la deschiderea contactelor nesincrone acestea închid circuitul capsei explozive. Cu toate acestea capsa nu explodează pentru că prin contactele sincrone nu mai trece curent şi schema de sincronizare nu dă în acest caz impuls de explozie. Dar dacă curentul este mare şi arcul nu a fost stins de contactele nesincrone, atunci schema de sincronizare dă semnalul de explozie şi contactele sincrone se depărtează rapid şi sting arcul. Reglarea schemei este astfel realizată încît depărtarea contactelor sincrone să aibă loc cu 0,0005 secunde înaintea trecerii curentului prin zero.

După stingerea arcului între contactele de stingere are loc deschiderea separatorului care scoate de sub tensiune contactele de stingere şi creează spaţiul de izolaţie necesar.

Contactele de stingere şi principale se închid după deschiderea separatorului.

4.1.5. Montarea, punerea în funcţiune şi întreţinerea întreruptoarelor

Generalităţi. Montarea, punerea în funcţiune şi revizia întreruptoarelor sînt operaţii de care depinde în foarte mare măsură funcţionarea ulterioară a aparatului şi prin urmare ele trebuie executate cu multă atenţie şi res-

ponsabilitate de către personalul tehnic. Deşi orice întreruptor ce trebuie instalat într-o reţea electrică este supus acestor operaţii, este destul de greu de precizat reguli generale pentru efectuarea lor, deoarece fiecare fabrică constructoare precizează în amănunt acest lucru în instrucţiunile ce însoţesc aparatul, instrucţiuni ce diferă în funcţie de tipul constructiv. În special, montarea şi punerea în funcţiune a unui întreruptor diferă de la un tip constructiv la altul, de la o firmă constructoare la alta şi s-ar putea spune că o regulă comună acestor operaţii este tocmai respectarea cu strictețe a instrucţiunilor referitoare la ele.

Întreţinerea întreruptoarelor, în schimb, comportă multe aspecte comune mai ales sub aspectul organizării ei. Este vorba de revizii care se fac după aceleaşi reguli la marea majoritate a întreruptoarelor. Astfel există revizii planificate care se execută periodic cu scopul de a elimina şi mai ales a preveni anumite defecţiuni apărute în timpul exploatării, de a constata starea tehnică a întreruptorului şi gradul de uzură a pieselor componente. Periodicitatea acestor revizii depinde de instrucţiunile firmei constructoare privind numărul maxim de deconectări în regim normal şi de scurtcircuit admis între două revizii consecutive. Spre exemplificare în tabelul 4.7 este dat acest număr maxim de deconectări admis pentru întreruptoarele fabricate de Electroputere.

În afară de reviziile planificate există şi revizii neplanificate ce se execută ori de cîte ori se constată o funcţionare anormală a întreruptorului.

Întreţinerea întreruptorului constă şi într-o serie de verificări periodice, fără scoaterea de sub tensiune a acestuia, prin care se constată buna funcţionare a subansamblelor şi a întreruptorului în general.

Cu toate acestea, operaţiile efective de întreţinere diferă de la un întreruptor la altul în funcţie de tipul constructiv şi ele se execută, de asemenea, după instrucţiunile elaborate de fabrica constructoare.

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva din instrucţiunile privitoare la montarea, punerea în funcţiune şi întreţinerea unor întreruptoare de construcţie românească şi străină.

Montarea şi punerea în funcţiune

a. Întreruptoare IUP—M—10—20. Fiind întreruptoare de interior trebuie montate în încăperi ce trebuie să îndeplinească anumite condiţii: să fie curate, uscate şi mai ales ferite de praf şi umeazeală. Montarea lor în celulă se face în funcţie de felul cum sînt livrate. Dacă se livrează cu mecanismul de acţionare cuplat şi întregul ansamblu montat pe un cărucior, atunci se introduce aparatul pe fundaţia pregătită, se fixează, după care se fac racordurile de aer comprimat şi electrice. În cazul în care întreruptorul este livrat separat de mecanismul de acţionare şi fără cărucior, atunci întreruptorul se montează pe un stelaj metalic în poziţie verticală. După fixarea cadrului aparatului şi verificarea verticalităţii lui se trece la verificarea axului principal. Acesta trebuie să se rotească fără frecări (înainte de verificare se desfac piuliţele de tensionare a arcurilor pentru a lăsa axul liber). Prin corectarea strîngerii cadrului pe stelajul mecanic se pot elimina eventualele frecări. Urmează verificarea amortizorului cu ulei care trebuie să funcţioneze fără blocări. În caz contrar, se demontează şi se verifică.

Tabelul 4.7

Numărul maxim de deconectări în regim normal şi de scurtcircuit admis între două revizii consecutive, la întreruptoarele fabricate de Electroputere—Craiova (date bazate pe experienţa de exploatare)

Tipul întreruptorului	I_n[A]	Puterea de rupere S_r[MVA]		Curentul de rupere I_r, în kA		Număr de deconectări admis între două revizii				
		La prima declanşare	După RAR	La prima declanşare	După RAR	$I \leqslant 0{,}5I_n$	$0{,}5I_n < I < I_n$	$I \leqslant 0{,}25I_n$	$0{,}25I_r < I \leqslant 0{,}5I_r$	$0{,}5I_r < I \leqslant I_r$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IUP—10, cu contacte din Cu	600—1000	350 la 10 kV 200 la 6 kV	—	20	—	600	300	12	5	2
IUP—10, contacte W—Cu	600—1000	350 la 10 kV 200 la 6 kV	—	20	—	1 000	500	25	10	4
IUP—15, contacte din Cu	600—1000	400	—	15,4	—	600	300	12	5	2
IUP—15, contacte W—Cu	600—1000	400	—	15,4	—	1 000	500	20	10	4
IUP—10 M(modernizat), contacte din alamă	630—1000	350 la 10 kV 200 la 6 kV	350 la 10 kV 200 la 6 kV	20	20	500	300	15	6	3
Idem, contacte W—Cu	630—1000	350 la 10 kV 200 la 6 kV	350 la 10 kV 200 la 6 kV	20	20	1 500	550	25	10	5
IUP—20 M(modernizat) contacte din alamă	630—1000	500	350	14,5	10	500	300	15	6	3
Idem, contacte din W—Cu	630—1000	500	350	14,5	10	1 500	550	25	10	5
IUP—35	1 250	1 000	500	16,3	8,25	600	300	12	6	3
IUP—110—1300 MVA	600	800	500	4,2	2,6	600	300	14	5	2
IUP—110—1900 MVA	600	1 900	1 000	10	5,25	600	300	16	6	3
IUP—110—3000 MVA	1 250	3 000	3 000	13	13	600	300	25	10	4
IO—10—400 A	400	250 la 10 kV 150 la 6 kV	250 la 10 kV 150 la 6 kV	14,5	14,5	2 800	1 000	30	11	4
IO—20—400 A	400	250	250	7,2	7,2	2 300	800	60	22	8
IO—15—630 A	630	500	350	19,2	13,5	1 500	550	40	14	7
IO—15—1250 A	1 250	500	500	19,2	19,2	1 500	550	40	14	7
IO—15—2500 A	2 500	500	—	19,2	—	550	200	20	8	4
IO—20—630 A	630	500	350	16,3	11	2 500	400	34	12	6
IO—20—1250 A	1 250	500	500	14,5	14,5	1 500	550	55	20	10
IO—110	1 600	6 000	6 000	51,5	51,5	1 000	500	40	14	5
IO—220	1 600	12 000	12 000	315	31,5	1 000	500	40	14	5

NOTĂ: I_n — curentul nominal al întreruptorului;
I_r — curentul de rupere nominal al întreruptorului

Înainte de a se trece la montarea cuvelor, lagărele axului principal, precum și amortizorul cu arc se ung cu ulei sau vaselină. Montarea pe suport a cuvelor ce conțin camerele de stingere se face verificîndu-se verticalitatea lor și coaxialitatea cu bielele de aluminiu. Se are grijă ca numărul marcat pe izolatoare să corespundă cu cel marcat pe cuvă. Distanța între axele a două cuve este de 250 mm. În final se cuplează axul întreruptorului cu dispozitivul de acționare montat și el pe un stelaj metalic.

Înainte de punerea în funcțiune se execută încercări pentru ridicarea caracteristicilor mecanice și electrice care apoi se compară cu caracteristicile date de fabrica constructoare.

b. Întreruptoare IO de medie tensiune. La fel ca la întreruptorul IUP—M încăperile în care se amplasează întreruptoarele IO de medie tensiune trebuie să fie curate, uscate și ferite de praf. Montajul însă este mai simplu deoarece acest tip de întreruptor se livrează gata montat. Înainte de a se introduce în celulă pentru fixare trebuie însă umplut cu ulei deoarece se livrează fără ulei. Această operație necesită atenție avîndu-se grijă ca uleiul să corespundă calitativ, bușoanele de golire să fie bine strînse și umplerea să se facă pînă cînd nivelul uleiului în vizor atinge mijlocul acestuia.

În celulă întreruptorul se fixează pe fundație după care se efectuează racordurile la circuitele de înaltă tensiune și de comandă. Se pune în funcțiune numai după verificarea terminării complete a montajului și după efectuarea cîtorva manevre manuale de verificare.

c. Întreruptoare IO de înaltă tensiune. Datorită gabaritului lor aceste tipuri se livrează pe subansambluri marcate corespunzător pentru a se evita montări greșite. Împreună cu aceste subansambluri se livrează și dispozitivul de acționare de tip MOP și conductele de înaltă presiune vopsite cu roșu (circuitul de închidere) și verde (circuitul de deschidere).

Întreruptoarele se montează pe fundații speciale executate conform instrucțiunilor. Ordinea de montare a subansamblelor pe aceste fundații este următoarea: sașiurile, coloanele izolante pe care se montează inelele de gardă și discurile reperatoare de gheață și carterele mecanismelor cu camerele de stingere. Se urmărește cu atenție montarea condensatoarelor după marcaj. Urmează montarea dispozitivului de acționare și racordarea conductelor de înaltă presiune.

După montaj înainte de punerea în funcțiune sînt necesare o serie de verificări. Astfel se verifică nivelele uleiului în: coloana izolantă, carterul mecanismului, camera de stingere, cilindrul amortizorului de închidere (ulei de comandă). După evacuarea aerului din circuitele hidraulice se verifică și nivelul uleiului de comandă din rezervorul dispozitivului. Acolo unde este necesar se va face corecția acestor nivele fiind interzisă efectuarea oricărei manevre dacă aceste nivele nu sînt normale.

Urmează verificarea etanșeităților asamblărilor hidraulice, atît cele efectuate la locul de montaj, cît și cele efectuate în fabrică. Se acordă atenție, în special, la executarea conexiunilor de comandă, la executarea legăturii de înseriere a camerelor de stingere, la executarea legăturilor de legare la pămînt.

La terminarea montajului se îndepărtează toate sculele și se trece la efectuarea probelor de verificare a parametrilor cinematici de funcționare și a stării izolației. Se verifică cu această ocazie, în special, timpii de funcțio-

nare și simultaneitate a închiderii sau deschiderii contactelor. Starea izolației se verifică prin măsurarea rezistenței de izolație a izolației camerelor de stingere a coloanei izolante. La 2,5—5 kV c.c. această rezistență trebuie să fie mai mare decît 10000 MΩ. După terminarea probelor se îndepărtează conexiunile făcute special pentru acest scop și se dă în exploatare.

d. Întreruptoare VVN—110—220. Ca la orice întreruptor cu aer comprimat montajul începe întotdeauna cu pregătirea circuitelor de aer comprimat. În stațiile și centralele electrice unde se montează întreruptoare cu aer comprimat se prevede și o gospodărie de aer comprimat compusă din: *compresoare,* al căror număr trebuie astfel ales încît căderea unuia să nu perturbeze alimentarea cu aer comprimat, *conducte* pentru transportul aerului comprimat realizate din cupru, oțel sau materiale ceramice, *filtre* pentru uscarea și curățirea aerului.

Montajul întreruptorului începe numai după ce la locul de montaj s-au terminat toate celelalte operații privind executarea fundațiilor, a canalelor etc. Se începe cu asamblarea întreruptorului pe propriul cărucior după care se fixează pe fundații avînd grijă ca fazele să fie bine centrate. Suprafețele ce vin în contact cu aerul comprimat se șterg cu benzină și se curăță de eventualele pete de rugină.

Izolatoarele se ridică cu mare atenție și numai legate cu funii. Se are grijă ca fixarea izolatoarelor de porțelan de elemente metalice să se facă numai prin intermediul unor garnituri de cuciuc.

La montaj se urmărește să se asigure etanșeitatea maximă a întreruptorului. Elementele neprotejate, precum și cele aflate în frecare se ung cu vaselină.

După montaj se verifică pozițiile reciproce ale cuțitului separatorului și a contactului său fix. Aceasta se face eliberînd provizoriu cuțitul separatorului de arcul mecanismului de închidere și lăsîndu-l să cadă liber între lamele contactului fix. După ce s-a constatat că acesta intră ușor între lamele și s-a verificat coaxialitatea contactelor se fixează difinitiv mecanismul de acționare al separatorului.

Punerea în funcțiune a întreruptoarelor se face numai după ce s-au ridicat caracteristicile mecanice, electrice și pneumatice. Astfel se măsoară: presiunea de apăsare a contactelor, distanța între contacte, cursa completă a contactului mobil, viteza de deplasare a contactelor, timpii de anclanșare și declanșare (caracteristici mecanice); rezistența de izolație, rezistența de contact (caracteristici electrice). Pentru ridicarea caracteristicilor pneumatice se execută următoarele operații: umplerea cu aer a rezervorului și a conductelor întreruptorului; verificarea funcționării corecte a blocajelor proprii la variațiile de presiune; verificarea etanșeității întreruptorului; măsurarea scăderii consumului de aer la anclanșare, declanșare și la un ciclu RAR; verificarea întreruptorului la anclanșări și declanșări variate la valori variabile ale presiunii aerului.

e. Întreruptoare cu hexafluorură de sulf (SF_6) Montajul acestor tipuri de întreruptoare se execută în condiții asemănătoare cu cele cu aer comprimat. Și probele dinaintea punerii în funcțiune sînt aceleași, cu deosebirea că la întreruptoarele cu hexafluorură de sulf se mai face și o verificare a circuitului de SF_6, atît pe înaltă cît, și pe joasă presiune, verificare ce se face după schema circuitului de gaze.

Întreținerea întreruptoarelor

a. Întreruptoare IO de medie tensiune. Întreținerea și reviziile acestor tipuri de întreruptoare constau din controale și lucrări periodice executate de personalul de exploatare. Examinarea periodică a întreruptoarelor este necesară după un anumit număr de ruperi (tabelul 4.7). La revizie trebuie să se verifice uzura inelelor de protecție a degetelor de contact superioare și starea uleiului. În cazul în care această uzură a atins limitele indicate de fabrică aceste elemente trebuie schimbate. Demontarea degetelor contactului fix superior, a inelelor de protecție și a vîrfului contactului mobil se face conform instrucțiunilor. Odată cu controlul contactelor fixe și mobile se verifică și buna stare a camerei de stingere curățindu-se cu ulei de transformator. Polii separatori, nesuportînd arcul electric, nu cer decît o întreținere minimă constînd, în principal, din controlul nivelului de ulei prin vizoarele analoage cu cele ale polilor întreruptoarelor.

Dacă întreruptoarele nu trebuie să fie puse în funcțiune imediat este recomandat să se facă umplerea cu ulei și să se depoziteze într-o încăpere uscată fără variații de temperatură.

În încăperile în care se montează aceste întreruptoare nu se admite acumularea prafului.

Revizia întreruptorului se efectuează în absența totală a tensiunii pe bornele acestuia, care se va realiza și controla conform regulilor de tehnica securității muncii.

La o repunere în funcție a întreruptoarelor, după o perioadă mai îndelungată de întrerupere se va observa cu atenție starea aparatului și în caz că se observă o încălzire pronunțată (schimbarea culorii barelor) este necesară revizia aparatelor respective.

În timpul funcționării, nivelul de ulei trebuie să corespundă celui indicat pe vizor.

Uleiul înnegrit datorită produselor de descompunere trebuie schimbat cu ocazia reviziilor și calitatea lui trebuie să corespundă indicațiilor.

Personalul de exploatare trebuie să cunoască în amănunt construcția și funcționarea acestor aparate, precum și a dispozitivelor de acționare.

b. Întreruptoare IUP—M—10—20. La fel ca la întreruptoarele IO periodicitatea reviziilor depinde de numărul de ruperi conform tabelului 4.7.

Pentru examinarea contactelor este necesară demontarea izolatoarelor de trecere și a părții superioare a cuvei. Se decuplează apoi tijele mobile de bielele de aluminiu și se scoate ansamblul din interiorul cuvei. Toate piesele se spală cu ulei, iar camerele de stingere se curăță la nevoie răzuindu-se resturile de carbonizare. La nevoie camerele se schimbă. La fel se schimbă și vîrful de contact și elementele contactului tulipă dacă sînt uzate. După remontarea elementelor în cuvă se verifică funcționarea indicatorului de nivel și ventilului dintre cuvă și rezervorul auxiliar. Este recomandabil ca la fiecare revizie în care s-au demontat contactele și camerele de stingere să se înlocuiască și uleiul.

c. Întreruptoare IO de înaltă tensiune. În timpul exploatării, pentru a se preîntîmpina funcționări incorecte ale întreruptorului, se fac verificări periodice ca de exemplu: cel puțin lunar, se verifică nivelul de ulei în rezervorul dispozitivului de acționare, coloane izolante, carterul mecanismului,

amortizorul de închidere; anual, se controlează calitatea uleiului de comandă. Uleiul electroizolant din coloane nu se verifică decît atunci cînd se observă scurgeri prin neetanşeităţi. Uleiul din carterul mecanismului are rolul de a asigura funcţionarea amortizoarelor de deschidere aşa că nu are mare importanţă calitatea lui. În schimb uleiul electroizolant din camera de stingere trebuie verificat cel puţin anual, în principiu, el trebuind să fie înlocuit după 20 de deschideri pe scurtcircuit la puterea nominală de rupere sau 1000 de declanşări la curentul nominal. Se mai fac verificări periodice la: contactele de rupere şi de lucru, camera de stingere, sistemul injector de anticavitaţie. La contacte se verifică nivelul şi vîrful de contact de rupere, tija mobilă de contact, degetele de contact ale tulipei de capăt cu piesa pentru fixarea lor. Camera de stingere se spală cu ulei şi se curăţă de resturile carbonizate.

Pentru revizie întreruptorul se izolează de reţea şi se leagă la pămînt toate părţile lui metalice. Pentru a avea acces la contactul mobil întreruptorul se închide după care se blochează orice comandă atît electric cît şi hidraulic.

După golirea uleiului din camera de stingere, aceasta împreună cu portcontactul superior se ridică cu un dispozitiv de ridicare, după ce în prealabil s-au scos şuruburile de fixare. Urmează apoi scoaterea numai a camerei de stingere creindu-se posibilitatea de acces direct la inelul de protecţie şi la degetele de contact după demontarea tubului de fixare. La demontarea sistemului injector de anticavitaţie se va acorda atenţie arcurilor, garniturilor şi pieselor de distanţare pentru ca după curăţire să poată fi remontate în perfectă ordine.

Se recomandă ca odată cu revizia căilor de curent să se trateze sau să se înlocuiască şi uleiul electroizolant.

d. Întreruptoare cu ulei puţin tip Sachsenwerk. La aceste tipuri de întreruptoare revizia începe cu demontarea şi spălarea camerei de stingere. Pentru aceasta se desfac cele patru şuruburi care fixează camera de stingere de izolatoare şi se desface bara de legătură de borna inferioară, de care este prinsă în două şuruburi.

După scoaterea camerei de stingere se demontează indicatorul de nivel de ulei, se scot cele opt şuruburi care fixează camera de stingere de partea metalică şi, prin mişcări succesive, se desprinde camera de stingere de pe partea metalică.

Pentru spălare, camera de stingere se introduce într-un vas cu ulei de transformator. Partea metalică în care se găseşte contactul fix se va spăla bine cu o pensulă într-un vas cu benzină şi tot aici se va curăţa apoi garnitura veche.

Urmează demontarea contactelor fixe, curăţarea, ajustarea şi montarea lor. După spălarea acestor piese, se deşurubează contactul fix din partea metalică, se demontează în părţile componente şi se ajustează cu o pilă fină şi cu şmirghel. În cazul în care deteriorările sînt mai pronunţate şi prin ajustare nu se asigură calitatea necesară, se procedează la înlocuirea contactului cu altul. După terminarea acestei operaţii, contactul fix se montează pe partea metalică strîngîndu-se bine.

Se demontează apoi contactele mobile. Pentru a se putea scoate contactul mobil din locaşul lui de glisaj, se scoate mai întîi bolţul de fixare la pîrghia izolantă de acţionare; odată eliberat de bolţ, contactul mobil

se prinde cu mîna şi se ridică pînă la ieşirea din locaşul de glisaj. Se va avea în vedere poziţia existentă înaintea demontării, pentru a nu se monta altfel. Urmele de perlări, de pe vîrful contactului mobil se curăţă cu o pilă fină şi cu şmirghel; în cazul în care deteriorările (perlările) sînt mai pronunţate se înlocuieşte vîrfarul.

După ajustarea sau schimbarea contactului mobil se procedează la montare, în ordinea inversă demontării, ungîndu-se în prealabil piesele cu o vaselină neutră.

După aceste operaţii se montează camera de stingere pe întreruptor în ordinea inversă demontării, avîndu-se grijă ca fiecare cameră de stingere să fie montată la locul ei, pentru a nu avea greutăţi la introducerea ştifturilor şi a şuruburilor. Se curăţă şi se montează indicatorul de nivel al uleiului, apoi prin buşonul de umplere, se introduce uleiul necesar, pînă la nivelul indicat pe cilindrul camerei de stingere.

Tot cu ocazia reviziei se face şi verificarea amortizorului. Această operaţie se execută cu întreruptorul închis şi asigurat prin blocaj, pentru a se evita eventualele manevrări greşite.

Cilindrul amortizor se scoate din locaşul lui. Se deşurubează capacul cilindrului, se goleşte cilindrul, se spală de ulei şi de depuneri, atît cilindrul, cît şi pistonul şi se umple cilindrul cu ulei de transformator pînă la nivelul indicat pe carcasă. Se verifică garnitura de la capacul cilindrului şi se înlocuieşte dacă prezintă deteriorări. Introducînd apoi pistonul, se strînge capacul şi se introduce amortizorul în locul lui. Se deschide întreruptorul, pentru a verifica buna funcţionare a amortizorului.

Se execută apoi ungerea articulaţiilor, verificarea izolatoarelor şi curăţirea generală a întreruptorului. Pentru ungerea articulaţiilor se foloseşte ulei antigel 5005, iar sectorul dinţat se unge cu vaselină. Înainte de ungere, se spală articulaţiile, în vederea înlăturării stratului de ulei uscat, vaselină, praf etc. Spălarea se face cu ajutorul unei pensule şi al unui vas cu benzină.

Izolatoarele întreruptorului se şterg cu o cîrpă înmuiată în benzină, apoi cu o altă cîrpă curată, îmbibată în spirt, pînă la curăţirea întregii suprafeţe, controlîndu-se să nu rămînă grăsime sau murdărie. Odată cu ştergerea izolatoarelor, se va observa starea acestora, în sensul că, să nu prezinte urme de conturnări, fisuri sau alte deteriorări mecanice.

Se curăţă cu o cîrpă înmuiată în alcool ecranele de protecţie dintre elemente şi pîrghiile izolante de acţionare.

Se verifică apoi toate circuitele secundare, clemele şi legăturile, pentru a nu fi oxidate sau slăbite. După această operaţie, se verifică cu megohmmetrul de 1000 V rezistenţa de izolaţie faţă de masă a tuturor circuitelor, urmărind ca izolaţia lor să nu fie mai mică de 1 MΩ.

Verificarea rezistenţei de izolaţie şi a rezistenţelor de contact ale întreruptorului. Rezistenţa de izolaţie se măsoară cu ajutorul unui megohmmetru de 2500 V. Măsurarea se execută la barele de la bornele întreruptorului. Rezistenţa de izolaţie trebuie să fie, în exploatare, de minim 1000 MΩ.

Măsurarea rezistenţei de contact se execută cu puntea Thomson.

Dacă rezultatele obţinute nu se încadrează în valorile indicate, se curăţă şi se verifică din nou toate căile de curent ale întreruptorului, acordînd o importanţă deosebită cordoanelor de legătură dintre punte şi întreruptor,

care trebuie să fie bine dimensionate şi legate strîns la borne, pentru a nu introduce erori.

Pentru verificarea dispozitivului de acţionare, trebuie demontat în primul rînd capacul de protecţie. Demontarea capacului se face prin slăbirea celor patru şuruburi. Se va demonta apoi broasca de pe axul întreruptorului prin desfacerea din prezoane a celor patru piuliţe.

Broasca scoasă de pe ax se spală cu benzină; se verifică uzura pieselor, apoi se ung cu vaselină RUL 101.

Celelalte piese componente ale dispozitivului se spală cu benzină şi se ung cu vaselină, verificîndu-se totodată starea lor de uzură sau eventualele deformări mecanice. După executarea acestor operaţii, se va remonta broasca dispozitivului de acţionare.

După ce întreg întreruptorul şi dispozitivul de acţionare au fost revizuite, se curăţă celula, se scot toate sculele şi se evacuează toate persoanele din celula întreruptorului.

Se execută o cuplare cu ajutorul cheii — manivelă, urmărind ca închiderea întreruptorului să se facă fără piedici sau frecări prea mari, iar indicatorul de poziţie să se găsească la mijlocul vizorului. Se execută apoi o deschidere manuală de la electromagnetul de deschidere. După efectuarea acestor manevre, se introduc siguranţele de comandă şi de semnalizare, se fac iarăşi două sau trei cuplări şi decuplări din cheie, observînd în acest timp funcţionarea dispozitivului de acţionare şi a întreruptorului.

Se montează apoi capacul de protecţie, repetîndu-se încă două anclanşări din cheie, iar declanşarea se va efectua prin protecţie. Dacă şi la aceste probe întreruptorul funcţionează normal, se consideră bun pentru exploatare.

e. Întreruptoare tip VVN—110—220. La întreruptoarele VVN—110 şi VVN—220 se execută următoarele revizii:

— revizii planificate, care se execută periodic, de două ori pe an;

— revizii accidentale, care se execută după 10 declanşări pe scurtcircuit şi respectiv 5 declanşări pe scurtcircuit, sau ori de cîte ori se constată o funcţionare anormală a întreruptorului.

În cadrul reviziei planificate, se execută revizia exterioară a camerelor de stingere, a separatorului, a divizoarelor de tensiune (rezistenţele de şuntare), a izolatoarelor de susţinere, a supapelor, a suprafeţelor interioare ale rezervoarelor; totodată se stabilesc locurile unde au apărut scurgeri de aer comprimat, se verifică sistemele de ventilaţie, armătura dulapurilor agregate şi se fac observaţii asupra funcţionării ansamblului. Se recomandă următoarea ordine în efectuarea revizici.

Întreruptorul se scoate din funcţiune şi se efectuează pregătirea locului de muncă în conformitate cu normele de securitate a muncii în vigoare.

Se efectuează revizia exterioară a întreruptorului, a izolatoarelor de sprijin ale camerei de stingere, a separatorului şi divizorului de tensiune ohmic sau capacitiv.

Se va acorda o atenţie deosebită izolatoarelor de porţelan, garniturilor de cauciuc, inelelor de presiune, închiderii perfecte a supapelor din pîlniile de evacuare ale camerei de stingere a întreruptorului, absenţei scurgerilor de ulei din condensatoare şi stării bornelor de ieşire din aparate.

Se verifică cu ajutorul cheilor dinamometrice fixarea izolatoarelor camerei de stingere, separatorului, divizorului de tensiune şi coloanelor de sprijin.

Se verifică întinderea tiranţilor de porţelan.

Se măsoară rezistenţa de trecere a contactelor în fiecare element al camerei de stingere şi al separatorului, precum şi la toate circuitele întregului pol. La întreruptoarele de 220 kV se verifică rezistenţa elementelor divizorului ohmic de tensiune sau a rezistenţei de şuntare. Pentru acest scop, este necesar ca, în prealabil, să se dezlege barele care unesc elementele divizorului ohmic sau ale rezistenţei de şuntare.

Dacă după efectuarea reviziei nu s-a observat nimic anormal şi dacă în perioada de exploatare anterioară întreruptorul a decuplat de mai puţin de 10 ori pe scurtcircuit şi nu a avut loc vreo defecţiune în funcţionarea camerei de stingere sau separatorului, atunci lucrările aferente reviziei camerei de stingere, separatorului, divizoarelor de tensiune şi coloanelor de sprijin se încheie cu curăţirea suprafeţelor exterioare ale izolatoarelor de porţelan. În cazul necesităţii efectuării demontării sau reparaţiei vreunui subansamblu al întreruptorului, urmează să se respecte recomandările privind repararea întreruptorului.

Revizia accidentală se efectuează după 10 declanşări pe scurtcircuit, puterea de scurtcircuit în acest caz fiind apropiată de puterea de rupere a întreruptorului. Fiecare reanclanşare automată nereuşită trebuie considerată ca două declanşări la scurtcircuit.

La această revizie se deschide doar camera de stingere şi separatorul şi se controlează rezistenţele elementelor divizorului ohmic. Înainte de demontarea elementelor camerei de stingere şi separatorului trebui măsurată rezistenţa de trecere a contactelor, demontarea efectuîndu-se apoi indiferent de rezultatul măsurării.

Demontarea urmează să se înceapă cu polul care a decuplat de cele mai multe ori la scurtcircuit şi se efectuează în ordinea indicată mai jos.

Izolatoarele de porţelan ale elementelor camerei şi separatorului se desprind de flanşe, se face o revizie a suprafeţelor lor interioare, cu deosebire în zona de ardere a arcului şi se curăţă de funingine. Izolatoarele la care s-au observat defecte ale glazurii: crătături ca firul de păr, urme de conturnare etc., trebuie neapărat schimbate.

Se examinează, fără demontare, mecanismele contactelor fixe şi mobile ale camerei de stingere şi separatorului; în caz că este necesar, se va efectua schimbarea sau reparaţia lor conform recomandărilor.

Printr-o apăsare puternică pe corpul mecanismului se verifică dacă nu sînt gripate contactele mobile ale camerei şi separatorului, se verifică dacă nu sînt răspîndite şuruburi, prezoare, ştifturi pe sistemul de contacte.

Se execută măsurarea rezistenţei elementelor divizorului de tensiune ohmic şi capacitiv şi a rezistenţei de şuntare.

Dacă demontarea şi măsurarea efectuată la polul care a lucrat în condiţiile cele mai grele şi dacă măsurările analoage efectuate asupra celorlalţi poli au dat rezultate mulţumitoare şi nu au necesitat schimbări de piese sau reparaţii la diferite detalii, atunci demontarea elementelor camerei de stingere şi separatorului la ceilalţi poli nu mai este necesară. La sfîrşitul reviziei se măsoară rezistenţa de trecere a contactelor camerei şi separatorului. Se efectuează apoi verificarea funcţionării întreruptorului în diferite cicluri, cu măsurarea pierderii de presiune. La polii a căror cameră de

stingere şi separator au fost demontate se vor ridica oscilograme de control.

Datorită faptului că regimul de cuplare pe scurtcircuit este destul de greu pentru întreruptoarele cu aer, în scopul acumulării de experienţă, se poate recomanda măsurarea rezistenţei de trecere a contactelor elementelor separatorului, după 4—5 cuplări pe scurtcircuit, fără să se aştepte atingerea numărului de la decuplări la scurtcircuit.

În caz că rezistenţa de trecere a unui element al separatorului va fi cu 20—30% mai mare decît în norme, este necesară demontarea acestui element.

În cazul în care a avut loc un refuz de funcţionare a întreruptorului sau în procesul de exploatare a apărut vreun defect se efectuează revizia reglementară, stabilindu-se cauza refuzului de funcţionare şi caracterul defectului.

Dacă pînă la intrarea în reparaţie planificată, întreruptorului a îndeplinit 500 operaţii de decuplare, se recomandă să se efectueze o revizie a camerelor şi a separatorului, cu care ocazie se verifică starea pieselor din cauciuc care îndeplinesc rolul de garnituri în mecanismele contactelor mobile ale camerei de stingere şi ale separatorului, precum şi a resorturilor şi inelelor aflate în aceste mecanisme.

După un timp de funcţionare de 6—8 ani, în cazul unor condiţii neprielnice de exploatare şi întreţinere, sau datorită reparaţiilor de calitate slabă, trebuie să se efectueze o încercare hidraulică a rezervoarelor întreruptorului.

f. Întreruptoare cu hexafluorură de sulf. Din experienţa de exploatare de pînă acum rezultă că întreţinerea acestor întreruptoare este foarte simplă. Dacă circuitul de hexafluorură de sulf este bine etanşat atunci controlul contactelor, ale camerelor de stingere şi a circuitului de gaze se recomandă să se facă o dată la 4—5 ani indiferent de numărul de manevre. Pentru mecanismul de acţionare se recomandă o revizie atentă la fiecare doi ani.

Verificările mai frecvente constau în: verificarea etanşeităţii circuitelor de SF_6; verificarea consumului de gaze la o operaţie de închidere şi deschidere; controlul pornirii automate a compresorului la semnalizările date de supraveghetoarele de presiune; demontarea, curăţirea şi umplerea cu oxid de aluminiu activat a filtrelor ce reţin reziduurile rezultate la descompunerea SF_6; demontarea, curăţirea şi verificarea funcţionării corecte a filtrelor de ulei de pe circuitul de refulare a compresorului.

4.1.6. Dispozitive de acţionare a întreruptoarelor

Generalităţi. Dispozitivele de acţionare sînt mecanisme cu ajutorul cărora se realizează închiderea şi deschiderea întreruptoarelor, mai precis spus se realizează deplasarea contactelor mobile după traiectorii precise şi cu anumite viteze.

Între dispozitivul de acţionare şi întreruptor există o legătură cinematică realizată constructiv în diverse moduri în funcţie de tipurile întreruptorului şi dispozitivului.

Dacă dispozitivul de acţionare realizează numai închiderea întreruptorului, deschiderea acestuia făcîndu-se cu ajutorul unui resort de deschidere, atunci

14—32

poate fi numit *dispozitiv cu acţionare unilaterală*. Este cazul dispozitivelor de acţionare de tipul: MR, MRI, DRI, DPI, DSI etc. folosite la întreruptoare cu ulei puţin de medie tensiune româneşti.

Dacă dispozitivul de acţionare realizează şi închiderea şi deschiderea întreruptorului, fără să mai fie nevoie de resorturi pentru deschidere, atunci se numeşte *dispozitiv cu acţionare bilaterală*. Este cazul întreruptoarelor de înaltă tensiune care folosesc dispozitive de tip MOP (I0 — 110, 220, 400) sau înglobate în ele (IUP—35) etc.

În principiu un mecanism de acţionare are următoarele părţi componente:

— un sistem de transformare a energiei agentului motor în energie mecanică (este chiar dispozitivul de acţionare);

— un sistem de cuplare — decuplare a dispozitivului de acţionare cu întreruptorul;

— diferite sisteme de comandă, de interblocare şi semnalizare.

În funcţie de energia folosită dispozitivele pot fi cu resorturi, cu aer comprimat, cu electromagneţi şi oleopneumatice.

În paragrafele următoarele vor fi prezentate cîteva tipuri de dispozitive de acţionare de construcţie românească.

a. Dispozitive de acţionare tip MR—1, MR—2, MR—3. În prezent aceste tipuri nu se mai fabrică dar ele există în exploatare. După cum o arată şi denumirea sînt mecanisme cu resorturi (MR).

Aceste tipuri de mecanisme utilizează pentru închiderea întreruptorului cu care sînt cuplate energia înmagazinată în resorturi de tracţiune, întinse (tensionate) în prealabil. Aceste resorturi sînt rearmate prin servomotor (sau manual) după închiderea întreruptorului. Acest principiu de funcţionare asigură aparatului închiderea bruscă cu toată securitatea (independent de viteza de manevră a operatorului) şi permite utilizarea lor la reanclanşarea rapidă dacă se folosesc, în acest scop, relee speciale ce nu se livrează odată cu aceste mecanisme.

Caracteristicile tehnice ale acestor mecanisme sînt indicate în tabelul 4.8.

În figura 4.42 sînt indicate schematic elementele componente ale mecanismelor MR—1, MR—2, MR—3. Mecanismele MR—1, MR—2, MR—3 sînt principial identice şi constructiv analoage, diferenţa esenţială constînd în lucrul mecanic dezvoltat de resorturile principale de închidere.

Principiul de funcţionare al acestor mecanisme poate fi urmărit cu ajutorul figurii 4.42.

Armarea resorturilor de închidere se face manual sau prin servomotor (figura 4.42).

Prin rotirea manivelei *16* în sensul acelor de ceas se antrenează simultan pinionul *17*, roata *20* reţinută de clichetul *19* şi volantul de inerţie *21*. Prin lanţul *18* şi roata *22* se antrenează axul *B*. Manivela *13* antrenează braţul *12* care întinde resorturile *14* fixate pe pîrghia fixă *15*. După trecerea peste punctul mort a manivelei *13* resorturile sînt tensionate şi rotirea în continuare este împiedicată de clichetul *7* care zăvoreşte rola *6* de pe manivela *5* a axului *B*. Clichetul *7* este fixat pe această poziţie prin clichetul *9* şi adus pe această poziţie de resortul *8*. Astfel resorturile *14* şi axul *B* sînt pregătite pentru închidere.

Tabelul 4.8

Caracteristicile funcţionale ale dispozitivelor de acţionare cu arc

Tipul	Lucrul mecanic dezvoltat [da J]	Servomotor			Comanda				Timpul de armare [s]	Destinaţie	Greutate [da N]	Observaţii
		P [VA]	U [V]	I [A]	P [W]	U [V](cc)	P [VA]	U [V](ca)				
MR—1	34	800	110 220(c.a)	4	150	24, 48 110, 220	300	100 220	4...6	IO—10(20), 400	110	Fără liberă deschidere
MR—2	50	800	110 220(c.a)	4	150	24, 48 110, 220	300	110 220	5...9	IO—15(20), 630	140	Fără liberă deschidere
MR—3	75	850	110 220(c.a)	5	150	24, 48 110, 220	300	110 220	6...10	IO—15(20), 1250	150	Fără liberă deschidere
MR—4	100	850	110 220(c.a)	5	200	24, 48 110, 220	400	110 220	8...12	IO—15, 2500	250	Fără liberă deschidere. Pregătire pentru acţionare IUP—35 şi IUP—110
MRL—2	50	850	110 220(c.a)	—	150	24, 48 110, 220	300	110 220	5...7	IO—15(20), 630	140	Cu liberă deschidere
MRL—3	75	850	110 220(c.a)	—	150	24, 48 110, 220	300	110 220	6...8	IO—15(20), 1250	150	Cu liberă deschidere
MRI— —1(0)	40	—	220(c.a) 48(c.c)	4(c.a) 10(c.c)	150	48 110, 220	—	110 220	5...7	IUP—M10 20), 630	95	Cu liberă deschidere
MRI—2	50	—	220(c.a) 48(c.c)	4(c.a) 10(c.c)	150	48 110, 220	—	110 220	5...7	IO—15(20), 630	100	Cu liberă deschidere
MRI—2b	50	—	220(c.a) 48(c.a)	4(c.a) 10(c.c)	150	48 110, 220	—	110 220	6...8	IUP—25, 1250	100	Cu liberă deschidere
MRI—3	75	—	220(c.a) 48(c.c)	4(c.a) 10(c.c)	150	48 110, 220		110 220	6...8	IO—15(20), 1250	100	Cu liberă deschidere
DRI— —1(2)	35	200	24...220(c.a) 100, 220(c.a)	—	180	24, 48 110, 220		110 220	6...9	tip 1 : IUP—10(15), 600 tip 2 : IUP—35, 1000	100 125	Cu liberă deschidere

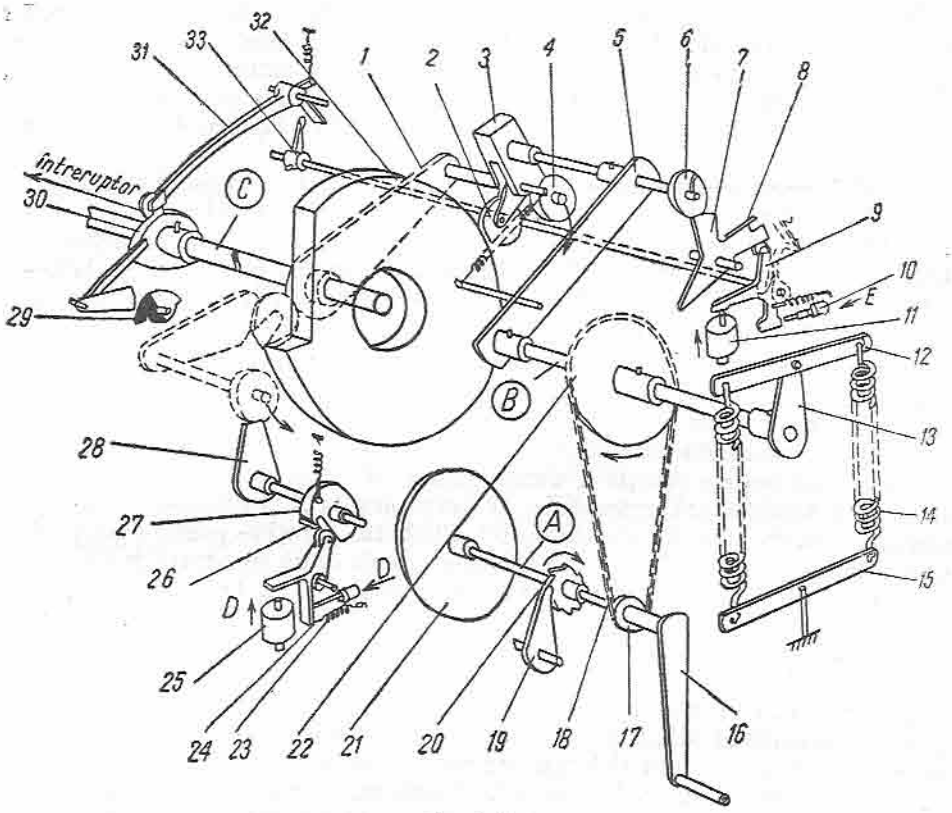


Fig. 4.42

Pentru armarea prin servomotor, mişcarea de rotaţie a axului motorului (nefigurat în figura 4.42) este transformată prin intermediul unui reductor, a unui excentric, a unei biele şi a unui clichet într-o mişcare alternativă rectilinie care imprimă roţii dinţate *20* o mişcare sacadată de rotaţie. Roata *20* este menţinută într-o poziţie determinată de clichetul *19*. Prin arborele *A*, roata dinţată *17*, lanţul de transmisie *18*, roata dinţată *22*, mişcarea este transmisă axului *B* care tensionează resorturile. La sfîrşitul operaţiei de armare circuitul motorului este deschis prin intermediul unei came şi a unor piese aflate între camă şi întreruptorul circuitului de alimentare al motorului. Totodată este pregătit pentru funcţionare circuitul de comandă a închiderii întreruptorului propriu-zis.

Închiderea. Prin apăsare pe butonul *10* sau prin alimentarea bobinei de anclanşare *11*, clichetul *6* este eliberat, resorturile antrenează liber axul *B*. Manivela *5* prin vîrful clichetului *3*, antrenează galetul *4* solidar cu manivela *1* a axului *C*. După ce rola *2* ajunge în crestătura camei *32*, clichetul *3* se desprinde de galetul *4*. Această trecere în crestătura camei *32* corespunde cu trecerea galetului *4* deasupra clichetului *28* (cu o depăşire de circa 4°). Clichetul *28* este solidar cu cama *27* care este zăvorîtă de clichetul *24* şi astfel întreruptorul este reţinut pe poziţia „închis".

Deschiderea. Prin apăsarea pe butonul *23* sau prin alimentarea bobinei de declanşare *25*, clichetul *24* se roteşte, eliberează cama *27* şi deci clichetul *28*. Sub acţiunea resorturilor de deschidere a întreruptorului, acesta trece pe poziţia „deschis" respectiv manivela *1*, revine în poziţia iniţială. Armarea resorturilor se poate face, atît pe poziţia întreruptorului închis, cît şi deschis.

Blocajul. Cînd întreruptorul este închis sau în curs de deschidere, clichetul *31* împiedică, prin piesa *33*, o nouă comandă de închidere.

b. Dispozitive de acţionare tip MR—4. Sînt folosite pentru acţionarea întreruptoarelor IO—15—2500 fiind asemănătoare ca principiu cu MR—1, MR—2 şi MR—3. Caracteristicile tehnice sînt date în tabelul 4.8, iar funcţionarea lor se poate urmări cu ajutorul figurii 4.43.

Armarea resorturilor de închidere se poate face manual şi prin servomotor.

Prin manivela *18* se roteşte axul *24* (în sensul indicat pe capotă). Excentricul *34* fixat solidar pe *24* acţionează asupra rolei levierului *36* care împinge biela *37*, articulată cu clichetul *38* şi care la rîndul lui roteşte cu un dinte roata *1* la fiecare rotaţie a excentricului *34*. Prin rotire în sensul acelor de ceas se tensionează resoartele *33* prin pîrghia *5* trecîndu-se peste zona punctului mort superior cu circa 10°. Clichetul *3* reţine roata *1* pe poziţia adusă de clichetul *38*. La partea inferioară, cele două resorturi de închidere *33* sînt articulate pe suportul aparatului prin barele *32*. După trecerea peste punctul mort superior resorturile de închidere sînt zăvorîte pe poziţia „armat" prin clichetul *31* care acţionează asupra rolei de pe cama *6* solidară cu arborele cotit *4*.

Armarea prin servomotor se execută ca în cazul precedent însă cu următoarele elemente în plus: motorul *26* prin perechile de roţi *27* şi *25*, respectiv cureaua trapezoidală şi lanţul cu role pune în mişcare axul *24* care, la fel ca la armarea manuală, duce la tensionarea resorturilor. Contactele de pornire şi rotire *7*, comandate prin levierul *11* acţionat de rola de pe cama *6* a arborelui cotit *4*, permit comanda închiderii întreruptorului numai după terminarea cursei de armare a resorturilor.

— *Închiderea.* Prin apăsare pe butonul *14* de „închidere" sau prin alimentarea bobinei *20*, clichetul *30* se roteşte în sensul acelor de ceasornic, eliberează clichetul *31* care, rotindu-se invers, dezăvoreşte rola solidară cu cama *6* cuplată cu axul cotit *4*. Sub acţiunea resorturilor *33*, axul *4* se roteşte în sens invers acelor de ceasornic şi, prin cama *11*, antrenează levierul *9* cuplat pe axul *23* care comandă întreruptorul respectiv. Axul *23* se roteşte cu circa 155° şi prin levierul *9* se zăvoreşte pe clichetul *29*. La rîndul lui clichetul *29* se zăvoreşte prin clichetul *28*.

— *Deschiderea.* Se poate executa, fie prin apăsarea directă pe butonul *16* de „deschidere", fie prin alimentarea bobinei *15*. Clichetul *19* rotindu-se în sensul invers acelor de ceas acţionează asupra clichetului *28* care dezăvoreşte clichetul *29* şi prin aceasta levierul *9* este eliberat şi sub acţiunea resortului de deschidere se roteşte cu 155° revenind pe poziţia „deschis".

c. Dispozitive de acţionare tip MRL. Sînt tot dispozitive de acţionare cu resorturi dar, spre deosebire de tipurile MR, aceste dispozitive au posibilitatea de liberă deschidere. Aceasta înseamnă că există posibilitatea decuplării între mecanism şi întreruptor chiar şi în timpul operaţiei de închidere, ceea ce permite deconectarea întreruptorului chiar şi pe parcursul

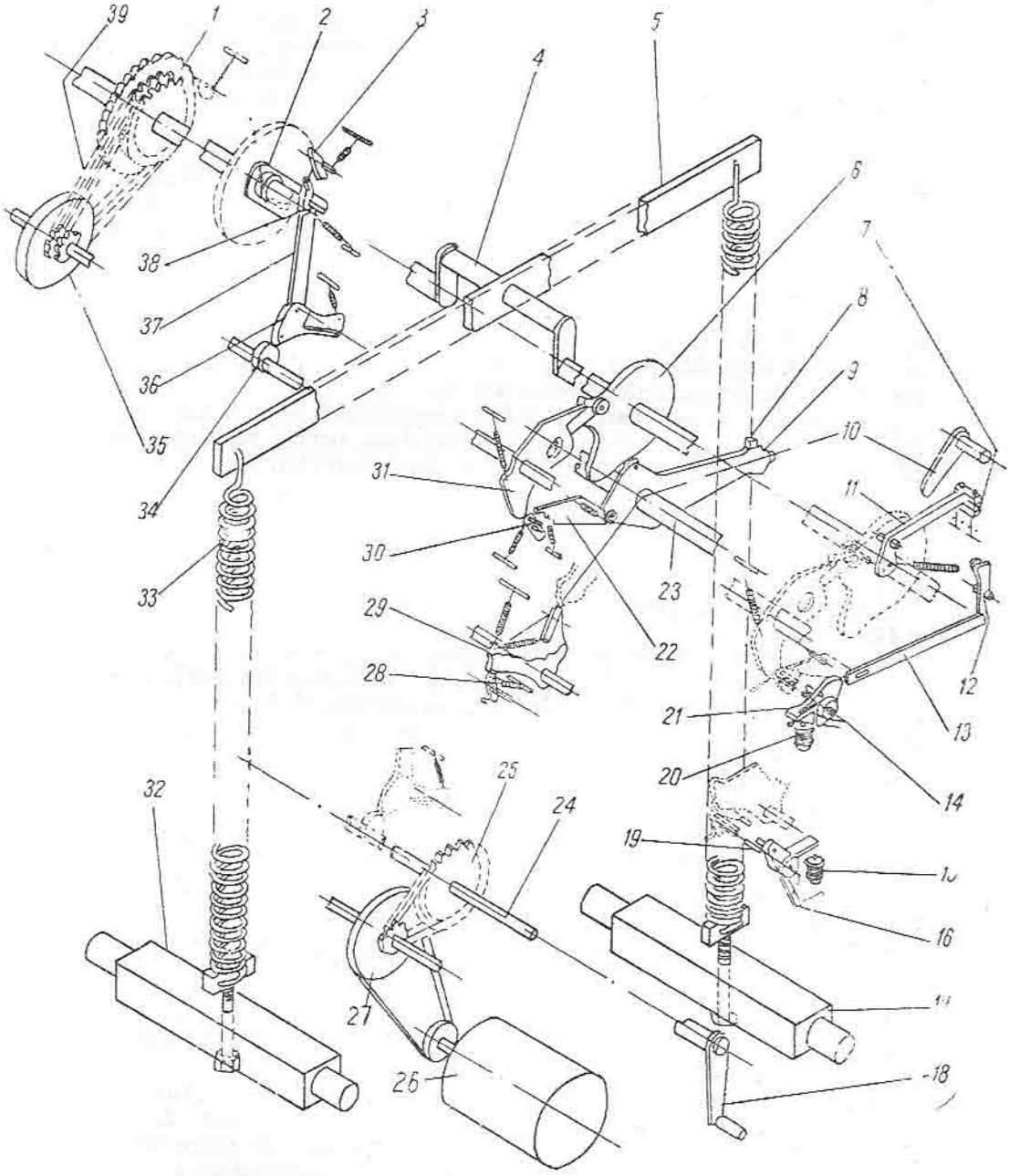

39
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38

Fig. 4.43

închiderii lui. În acest mod se realizează o mai mare maleabilitate în schemele de comandă cu cicluri repetate.

Pentru a nu se produce destinderea în gol a resorturilor în cazul apariţiei unei comenzi de deschidere chiar la începutul operaţiei de închidere, mecanismele cu liberă deschidere se realizează astfel ca decuplarea între întreruptor şi dispozitivul de acţionare să fie posibilă doar după circa 60% din cursa de închidere.

Constructiv dispozitivul MRL este identic cu tipurile MR cu excepţia mecanismului de cuplare care după cum s-a arătat realizează libera deschidere. Caracteristicile tehnice ale acestor mecanisme sînt date în tabelul 4.8.

d. Dispozitive de acţionare tip MRI. Sînt realizate pe baza schemelor constructive ale dispozitivelor MRL şi MR—4 avînd însă o construcţie mai simplă. La fel ca MRL au mecanism de liberă deschidere. Transmisia de la motor la arcul de închidere se face asemănător ca la MR—4 însă, spre deosebire de acesta, are numai un singur resort de închidere. De remarcat că acest dispozitiv este echipat şi cu resortul pentru deschiderea întreruptorului. Caracteristicile tehnice sînt date în tabelul 4.8.

e. Dispozitive de acţionare tip DRI. Dispozitivul de acţionare tip DRI foloseşte energia unui resort elicoidal comprimat pentru realizarea închiderii întreruptoarelor şi pentru pregătirea deschiderii lor.

Dispozitivul se compune din următoarele mecanisme: mecanismul de armare; mecanismul resortului de închidere; mecanismul închiderii şi deschiderii întreruptorului; mecanismul de deschidere liberă şi mecanismele de comandă şi semnalizare.

Construcţia şi funcţionarea acestor mecanisme se poate urmări în figura 4.44.

Mecanismul de armare (notat în figură cu *1*) realizează comprimarea resortului de închidere *2.6* şi „armarea" mecanismului DRI, în sensul legării mişcării conduse, de închidere, a mecanismului *3* cu mişcarea motorului de închidere (mecanismul *2*) prin intermediul mecanismului de deschidere liberă *4*.

Părţile principale ale mecanismului de armare sînt:

— electromotorul *1.3* cu sistemul demultiplicator format din roţile dinţate *1.4* cu *1.5*, *1.7* cu *1.8*, *1.20* şi cu arborele *1.9* cu o decupare pentru bolţul culisor al roţii dinţate *1.20*;

— manivela de armare manuală *1.15*, cu arborele glisant *1.16*, care are roata dinţată de capăt *1.19* şi ochiul de lagăr pentru arborele *1.9*;

— roata dinţată de armare *1.13*, cu pîrghia — declic *1.12*, cu resortul lamelar de oprire *1.14* şi cu şurubul reglabil cu pinten de declichetare şi de oprire *1.11*.

Mecanismul resortului de închidere (notat în figură cu *2*) realizează închiderea întreruptorului prin energia acumulată în acest resort. Părţile sale componente sînt următoarele:

— ansamblul resortului de închidere compus din: resortul elicoidal de închidere *2.6*; bucşa taler de aşezare şi de precomprimare *2.12*; patru tiranţi (nereprezentaţi în figura 4.44) care, împreună cu placa suportului *3.1*, alcătuiesc colivia resortului 2.6; sistemul de transmitere a eforturilor la şi de la resortul *2.6*, alcătuit din tija percutor *2.1*, din talerul de oprire *2.3*, din talerul de împingere *2.5*, din tija de comprimare *2.8* şi din cremaliera *2.15*;

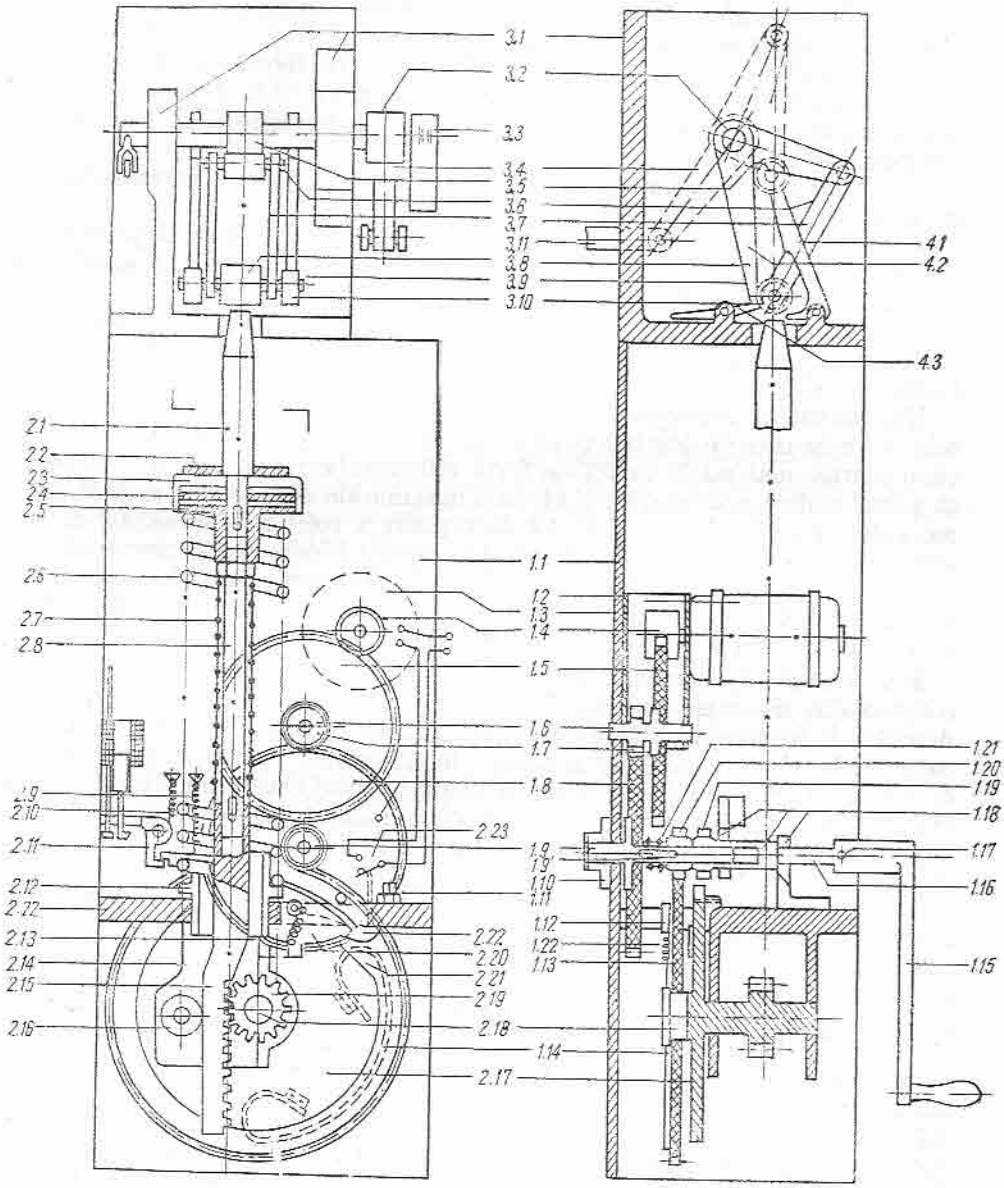


Fig. 4.44

— arborele de comprimare *2.18*, la care se deosebesc: roata dințată *2.19* a cremalierei, încadrată în fusurile de rotire în bucșele din consolele cu bride *2.14*, fusul de capăt pe care este calată liber roata dințată de armare *1.13* și discul de antrenare *2.17*, avînd o decupare de înclichetare *2.21* și umărul de împingere *2.20*;

— clichetul *2.22* de reținere a discului *2,17* și pîrghia *2.11*, care-l blochează în poziția de înclichetare cu discul *2.17*.

Mecanismul închiderii și deschiderii (notat în figură cu *3*) realizează închiderea întreruptorului sub acțiunea resortului *2.6* și deschiderea lui sub acțiunea resorturilor de deschidere ale întreruptorului. Părțile sale componente sînt:

— arborele oscilant motor al închiderii *3.2* și arborele întreruptorului, cuplați prin biela articulată *3.11*;

— manivela motoare *3.5* a arborelui *3.2*, îmbinată articulat prin bolțul *3.6* cu bielele *3.7*, care au la capătul liber rola de împingere *3.8* și rolele de reazem și culisare *3.10*, montate pe bolțul *3.9*;

— arborele întreruptorului (nereprezentat în figura 4.44) cu manivelele motoare și conduse, cu resorturile de deschidere și cu amortizoarele de închidere și de deschidere.

Mecanismul de deschidere liberă (notat în figură cu *4*) are rolul de a permite ca mișcarea de deschidere să fie făcută de un ansamblu redus de piese, cu o inerție mai mică, astfel ca forța eliberată a resortului de deschidere să poată realiza accelerațiile și vitezele maxime ale contactelor mobile. Acest mecanism constă din: pîrghia *4.1* de reținere a rolei *3.8*; sania *4.2* de reazem și de ghidaj a rolelor *3.10*; pîrghia de deschidere *4.3* și resorturile elicoidale flexionale de readucere ale fiecăreia din aceste trei piese în poziția normală imediat ce încetează acțiunile care le scot din această poziție (resorturile nu sînt reprezentate în figura 4.44).

Mecanismele de comandă și de semnalizare (nereprezentate în figură) constau din sistemele de pîrghii ale diferitelor comenzi ale închiderii și ale deschiderii întreruptorului și din comutatoarele auxiliare, care realizează conectările și deconectările necesare în circuitele electrice de comandă, de blocaj și de semnalizare. Poziția dispozitivului este semnalizată în deschiderea corespunzătoare a capotei de către indicatorul de poziție *3.3*.

Închiderea întreruptorului. Sub acțiunea comenzii de închidere, pîrghia de blocaj *2.11* eliberează clichetul *2.22* de reținere a discului *2.17*. Prin aceasta resortul de închidere *2.6* poate pune în mișcare ansamblul taler *2.5*, tija *2.8*, cremaliera *2.5*, roata dințată *2.19* arborele *2.18*, discul *2.17*. Sub apăsarea muchiei radiale a decupării *2.21* din discul *2.17*, care începe să se rotească în sensul acelor de ceasornic, clichetul *2.22* este rotit în jurul axei sale și este scos din decuparea *2.21*; ca urmare a desfacerii înclichetării dintre clichet și disc, arcul *2.6* proiectează în sus piesele *2.5* și *2.15* și învîrte cu mare viteză arborele *2.18* împreună cu discul *2.17*, prin intermediul roții dințate *2.19*. Tija percutor *2.1* împinge prin rola *3.8* și bolțul *3.9* bielele *3.7*, care rotesc la rîndul lor, prin manivela *3.5*, arborele motor al închiderii *3.2* și, mai departe, prin intermediul manivelei *3.4* și al bielei articulate *3.11*, arborele întreruptorului; prin aceasta, contactele mobile se închid; în același timp, resorturile de deschidere sînt întinse. La sfîrșitul mișcării de închidere, ansamblul pieselor mecanismului *3* al închiderii și deschiderii este frînat de resortul de deschidere și de amortizorul de deschidere și apoi oprit de acesta din urmă.

Blocarea mecanismului 3 în poziția închis. Spre sfîrșitul cursei de închidere, rolele *3.10* împing pîrghia *4.1* făcînd-o să se rotească în sensul acelor de ceasornic, pînă în momentul în care ele depășesc muchia de sus a acestei pîrghii. Imediat după aceasta, pîrghia *4.1* este readusă de către resortul

său flexibil în poziția sa normală, astfel încît, după oprirea oscilației de închidere, mecanismul *3* nu poate fi mișcat înspre deschidere de către resorturile de deschidere decît atunci cînd rolele *3.10* sînt oprite pe muchia de sus a pîrghiei *4.1* și pe sania *4.2*. În această situație, resortul de deschidere exercită, prin intermediul mecanismului *3*, o apăsare continuă a rolelor *3.10* atît pe pîrghia *4.1*, cît și pe sania *4.2*. Apăsarea pe pîrghia *4.1* este preluată de bolțul acesteia, iar apăsarea pe sania *4.2* este transmisă pîrghiei de deschidere *4.3* și preluată de bolțul ei.

După oprirea mișcării ascendente a ansamblului tije-percutor *2.1*, a talerelor *2.3* și *2.5*, a tijei *2.8*, tampoanele amortizoare *2.2* și *2.4* se deschid, trăgînd în jos tija-percutor.

Pentru ca închiderea să se poată executa întotdeauna corect, este necesar ca la montaj să se regleze astfel îmbinările, încît între rola de împingere *3.8* și percutorul *2.1* să existe un joc de 3—5 mm în poziția de jos (armat) și un joc de 1—2 mm în poziția de sus (resortul *2.6* destins și întreruptorul închis).

Comprimarea resortului și armarea. Antrenarea automată (cu motorul electric *1.3*) a roții dințate de armare *1.13* începe imediat după rotirea în poziția declichetat a clichetului *2.22*, deoarece contactorul *2.23* se închide și motorul pornește. Atîta vreme cît clichetul *2.22* va fi menținut în poziția declichetat de către marginea circulară a discului *2.17*, contactorul *2.23* va rămîne închis, el se va deschide numai odată cu readucerea clichetului în decuparea *2.21* de către resortul *2.9*. Motorul electric *1.3* antrenează roata *1.13* prin sistemul demultiplicator arătat mai sus.

Antrenarea manuală a roții *1.13* se face cu ajutorul manivelei *1.15* care, instalată și apăsată pe bolțul *1.17* provoacă deplasarea arborelui *1.16* și împingerea roții dințate cu bolț culisor *1.20* și, către roata dințată *1.8*; concomitent are loc și comprimarea resortului elicoidal *1.21*. Prin aceasta, roata dințată *1.19* ajunge în locul roții dințate *1.20* și, ca urmare a învîrtirii manuale a manivelei *1.15*, pune în mișcare roata *1.13*. Odată cu scoaterea manivelei *1.15*, resortul de readucere *1.21* împinge roata *1.20* în poziția inițială, restabilind situația normală de antrenare prin motorul *1.3* a roții *1.13*. Pentru comprimarea resortului de închidere al DRI sînt necesare circa șapte ture de manivelă.

Comprimarea resortului de închidere *2.6* se face prin antrenarea cu motor sau manuală a discului *2.17*, prin intermediul roții *1.13*. Deoarece mecanismul resortului de închidere execută o mișcare oscilantă, iar mecanismul de armare execută o mișcare circulară continuă, roata dințată *1.13* este cuplată cu discul *2.17* printr-un cuplaj intermitent și automat, comandat mecanic prin șurubul *1.11*. Semicuplajul de pe roata *1.13* este format din pîrghia — declic cu rolă *1.12* și cu resortul său de readucere *1.22*, iar semicuplajul de pe discul *2.17* este format din umărul de împingere *2.20*. Pentru ca înclichetarea discului *2.17* cu clichetul *2.22* să se poată face corect, este necesar ca, după ce muchia radială a decupării *2.21* a depășit cu 0,5—1,5 mm muchia clichetului *2.22*, șurubul cu pinten *1.22* să desfacă cuplajul umărului *2.20* cu pîrghia-declic *1.12*, prin apăsarea brațului acesteia și scoaterea rolei de pe muchia de împingere a umărului *2.20*.

Odată cu declichetarea, resortul de închidere *2.6* readuce discul *2.17*, pînă cînd muchia lui va fi blocată de clichetul *2.22*. Roata *1.13* continuă

rotirea sa ca urmare a inerției mecanismului de armare, în cazul antrenării prin motor, sau ca urmare a continuării învîrtirii cu o tură a manivelei, în cazul antrenării manuale.

Armarea mecanismului de deschidere liberă. Odată cu comprimarea resortului *2.6*, tija percutor *2.1* este retrasă; aceasta permite resortului flexional al saniei *4.2* să o readucă în poziția normală, astfel ca să poată fi reținută de pîrghia de deschidere *4.3*; sania *4.2* aduce și capul cu role al bielelor *3.7* în dreptul tijei percutor *2.1*; capul cu role este împins spre *4.2* de către resortul flexional al bielelor *3.7*.

Deschiderea întreruptorului. Sub acțiunea comenzii de deschidere, pîrghia de deschidere *4.3* eliberează sania *4.2*. Prin aceasta, blocajul mecanismului *3* este suprimat, astfel că resorturile de deschidere pot roti sania *4.2*, iar rolele *3.10* scapă și permit oscilația spre deschidere a mecanismului *3*. Sub acțiunea resorturilor de deschidere, ansamblul contactelor mobile — arbore întreruptor și arbore motor al închiderii *3.2* — este deplasat cu viteză mai mare spre deschidere. Mișcarea de deschidere este frînată și oprită de către amortizorul de deschidere.

Aceste tipuri de dispozitive sînt destinate acționării întreruptoarelor cu ulei puțin de medie tensiune. Caracteristicile funcționale ale acestor tipuri sînt date în tabelul 4.8.

f. Dispozitive de acționare tip DPI. După cum o arată și denumirea DPI sînt dispozitive de acționare pneumatice, adică folosesc energia potențială a aerului comprimat. Se folosesc pentru întreruptoare IUP—M—15 kV. Caracteristicile lor funcționale sînt date în tabelul 4.9.

În principal, un dispozitiv de acționare tip DPI se compune din următoarele mecanisme: mecanismul motor al închiderii, mecanismul de închidere și deschidere liberă, mecanismele de comandă și semnalizare.

Construcția și funcționarea acestor mecanisme poate fi urmărită în figura 4.45.

Mecanismul motor al închiderii (notat în figură cu *1*) este format din cilindrul *1.3* de închidere și din ventilul de închidere *1.14*. Este asamblat prin tiranții *1.4* pe suportul *2.1* al mecanismului de închidere și de deschidere liberă. Mecanismul motor al închiderii are în placa capac *1.7*, șurubul *1.8* cu cap pătrat, pentru închiderea manuală de reglaj. Închiderea între-

Caracteristicile funcționale ale dispozitivelor

Tipul	Lucru mecanic dezvoltat	Cuplul maxim dezvoltat	Unghiul de rotație al axului	Agentul motor pentru închidere			
				Tensiune	Consum	Presiune	Consum
	[da N·m]	[da N·m]	[grade]	[V]	[VA]	x 10^5 P	l (l ata)
DPI(E)	45	40	90	—	—	+10% 4,5—15%	16
DSI(E)	35	40	90	110—220 c.c.	19 500	—	—

ruptorului cu ajutorul acestui şurub se face numai în cadrul montajului şi al reviziilor, pentru a se controla şi a se regla mersul întregului ansamblu. Închiderea sub tensiune a întreruptorului cu ajutorul acestui şurub este interzisă.

Mecanismul de închidere şi de deschidere liberă (notat în figură cu *2*) este format din:

— ansamblul bielelor *2.7, 2.6, 2.29, 2.31* şi al bielei de reţinere *2.8* care alcătuiesc, în poziţie „închis", un contur poligonal convex, comprimat continuu de resortul de deschidere *2.15* şi sprijinit în bolţul *2.32*; biela *2.8* are funcţia de a reţine bolţul de articulare al bielelor *2.6* şi *2.29*. Bolţul de articulare al bielelor *2.6* şi *2.7* este susţinut, în poziţia închis, de muchiile superioare ale pîrghiei *2.5*, iar bielele *2.29* şi *2.31* sînt blocate, în poziţia „convexă", de şurubul *2.28*.

— ansamblul arborilor oscilanţi *2.12* şi *2.19* cu manivelele lor şi cu biela articulată *2.16*, care îi cuplează. Prin manivela *2.21* a arborelui *2.19* al întreruptorului şi prin izolatorul tijei *2.23* are loc manevrarea în poziţiile închis sau deschis a contactului mobil *2.22* al întreruptorului. Prin manivela *2.18*, prin resortul *2.15* şi prin amortizoarele *2.17.1* şi *2.17.2* se realizează deschiderea întreruptorului, frînarea şi oprirea oscilaţiei de închidere sau a oscilaţiei de deschidere.

Mecanismele de comandă şi de semnalizare (notate în figură cu *3*) sînt formate din: electrovalva comenzii de închidere *3.3*; pîrghia *3.10*; electromagnetul *3.13* al comenzii de deschidere; comutatoarele auxiliare şi indicatorul poziţiei dispozitivului. Închiderea întreruptorului se poate comanda în următoarele două feluri:

— *local, manual*, prin butonul armăturii mobile *3.6*;

— *de la distanţă, electric*, prin electromagnetul electrovalvei comenzii de închidere *3.8*.

Deschiderea întreruptorului se poate comanda în următoarele două feluri:

— *local, manual*, prin pîrghia *3.10*;

— *de la distanţă, electric*, prin electromagnetul de comandă a deschiderii *3.13*.

Comutatoarele auxiliare realizează conectările şi deconectările necesare în circuitele electrice de comandă, de blocaj şi de semnalizare.

Tabelul 4.9

de acţionare tip DPI şi DSI

Comandă			Masa	Destinaţie
Închidere	Deschidere			
[V] [VA]	[V]	[VA]	[kg]	
24— 48 130	24—48	130	45(75)	IUP(M)—10 —15—20
110—220 c.c.	110—220 c.c.			
—	110—220	550	50(80)	IUP—35

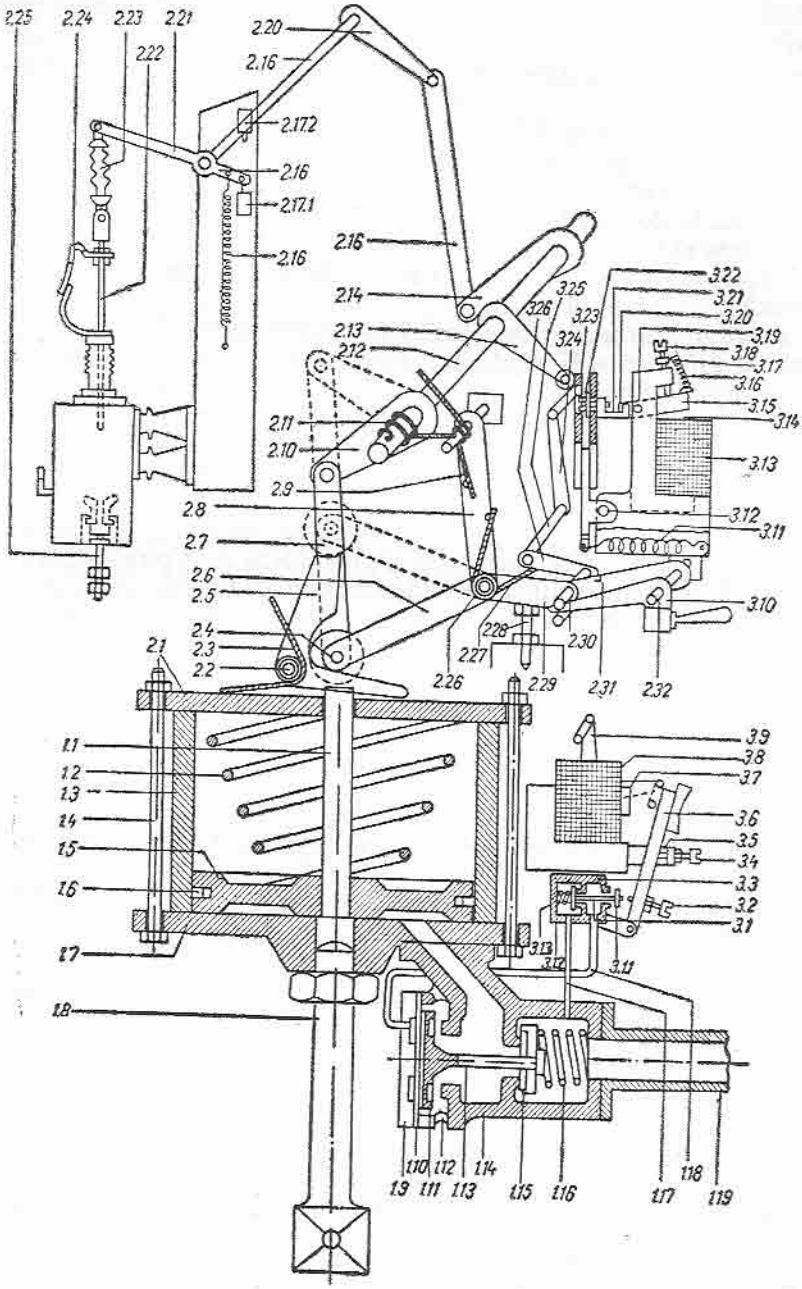

2.25
2.24
2.23
2.21
2.22
2.20
2.16
2.17.2
2.16
2.17.1
2.16
2.16
2.14
2.13
2.12
2.11
2.10
2.9
2.8
2.7
2.6
2.5
2.4
2.3
2.2
2.1
3.25
3.26
3.23
3.24
3.22
3.21
3.20
3.19
3.18
3.17
3.16
3.15
3.14
3.13
3.12
3.11
3.10
2.28
2.27
2.30
2.26
2.29
2.31
2.32
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
3.9
3.8
3.7
3.6
3.5
3.4
3.3
3.2
3.1
3.13
3.12
3.11
1.10
1.12
1.14
1.9
1.11
1.13
1.15
1.16
1.17
1.18
1.19

Fig. 4.45

Indicatorul poziției întreruptorului este montat pe capul arborelui oscilant *2.12*. Pentru a se putea urmări construcția mecanismului de închidere și de deschidere liberă, acest indicator, precum și șirul de cleme de conectare a conductoarelor electrice ale comutatoarelor auxiliare nu au fost reprezentate în figura 4.45.

Închiderea întreruptorului. Comanda de închidere duce la atragerea armăturii *3.6* spre miezul *3.7* al electromagnetului *3.8* sau împingerea ei manuală, ceea ce provoacă deplasarea în poziția deschis a ventilului cu două talere *3.1*. Prin aceasta, se stabilește legătura între conductele *1.17* și *1.18*, ca urmare a deplasării talerului principal *3.1.2* și se întrerupe legătura conductei *1.18* cu exteriorul de către talerul *3.1.1*. Aerul comprimat acționează asupra membranei *1.10* și deplasează ventilul *1.13* în poziția deschis. Aceasta, prin talerul principal, stabilește legătura conductei *1.19* de racord la instalația de aer comprimat cu spațiul de sub pistonul *1.15*, întrerupînd legătura acestui spațiu cu exteriorul prin talerul auxiliar.

Închiderea se produce sub acțiunea aerului comprimat care pătrunzînd în spațiul de sub pistonul *1.5* îl proiectează pe acesta în sus, astfel că tija-percutor *1.1* împinge și rotește, prin rola bolțului *2.4*, prin biela *2.7* și prin manivela *2.10*, arborele *2.12* în sensul închiderii întreruptorului; mișcarea de închidere este transmisă prin manivela *2.14*, biela *2.16* etc. la contactul mobil pe care îl apropie de contactul fix *2.25* și la resortul de deschidere *2.15* pe care îl întinde.

La începutul cursei de închidere manivela *2.13* se îndepărtează de pîrghia-percutor *3.23*, astfel că aceasta este reținută în continuare de către zăvorul *3.20*.

După oprirea pistonului *1.5* de capacul *2.1*, ansamblul arborilor *2.12* și *2.19* continuă, în baza inerției, mișcarea în sensul închiderii. La capătul cursei de închidere, acest ansamblu este frînat și oprit de către amortizorul 2.17.2. și de către resortul 2.15, iar acesta din urmă începe — după oprire — să-l readucă în poziția deschis.

Blocarea întreruptorului în poziția închisă. Mișcarea spre deschidere a ansamblului arborilor *2.12* și *2.19* este oprită de pîrghia de reținere *2.5*, care, fiind readusă de resortul său *2.3* în poziția normală, nu permite bolțului de articulare al bielei *2.6* cu biela *2.7* să-și continue deplasarea în jos, deoarece rolele de reazem ale acestui bolț sînt oprite pe muchiile de sus ale pîrghiei *2.5*. Tensiunea arcului de deschidere *2.15* se va transmite deci în tot timpul cît întreruptorul este închis, prin ansamblul arborilor *2.19* și *2.12* și prin manivela *2.10*, conturului poligonal convex format din bielele *2.7*, *2.6*, *2.29* și *2.31* rezemat în bolțul *2.32*, conturul fiind astfel supus unui efort continuu de compresiune.

După cum se poate vedea din figura 4.45 blocarea întreruptorului în poziția închis nu va putea avea loc dacă:

— presiunea aerului comprimat este scăzută, astfel că forța de ridicare nu e capabilă să învingă forța antagonistă a resortului de deschidere *2.15*, și deci rolele de reazem ale bolțului *2.4* nu pot ajunge deasupra muchiilor superioare ale pîrghiei *2.5*;

— autodeconectarea bobinei *3.8* a electromagnetului comenzii de închidere de către comutatorul auxiliar se face prea devreme, astfel că admisia aerului comprimat sub piston se întrerupe înainte de a se fi predat pistonului energia necesară aducerii întreruptorului în poziția închis;

— pîrghia de reţinere *2.5* nu este readusă la timp în poziţia ei normală, fie din cauză că rolele de reazem nu trec suficient de mult de muchiile superioare ale pîrghiei *2.5*, fie din cauză că resortul flexional de readucere *2.3* este prea slab;

— bielele *2.29* şi *2.31* ale deschiderii libere nu sînt readuse în poziţia lor normală „convexă" de către resortul flexional *2.27*, astfel că tensiunea arcului de deschidere *2.15* nu poate fi preluată de conturul poligonal şi, ca urmare, rolele de reazem ale bolţului *2.4* sînt împinse de pe muchia de reazem, iar mişcarea de deschidere continuă pînă la capătul cursei.

Blocarea comenzii de închidere a întreruptorului. Pentru a face imposibilă o comandă periculoasă de închidere a întreruptorului (de la distanţă sau manuală), este prevăzută pîrghia cu bolţ *3.9*, care poate fi rotită astfel încît bolţul ei să fie adus între armătura mobilă *3.6* şi miezul *3.7*, blocînd astfel apropierea armăturii de miez şi deci deschiderea ventilului *3.1*.

Deschiderea întreruptorului. Comanda de deschidere se transmite axului de îmbinare *2.30* prin pîrghia *3.10* sau electromagnetul de comandă a închiderii *3.13*, pîrghia percurtor *3.2* şi arborele oscilant intermediar *3.25*. Sub acţiunea acestor comenzi, axul *2.30* este împins în sus din poziţia sa normală, făcînd să se rotească biela *2.29* în jurul axului *2.26* în sensul acelor de ceasornic, iar biela *2.31* în jurul bolţului *2.32* în sensul direct. După trecerea de punctul mort, axul *2.30* permite bielelor *2.29* şi *2.31* să-şi continue rotirea lor sub acţiunea resortului de deschidere *2.15* astfel că rolele de reazem ale bolţului *2.4* scapă de muchiile superioare ale pîrghiei *2.5*.

Imediat ce încetează blocarea bolţului *2.4* de către pîrghia *2.5*, ansamblul arborilor *2.12* şi *2.19* este adus de către resortul *2.15* în poziţia deschis. Manivela *2.13* readuce pîrghia-percutor din poziţia de lucru în poziţia de armare, în care va fi reţinută de către zăvorul *3.20* al armăturii mobile *3.15* a electromagnetului de comandă a închiderii.

Reînchiderea automată rapidă a întreruptoarelor acţionate cu DPI se poate realiza numai printr-o comandă electrică deoarece acest dispozitiv nu este prevăzut cu un mecanism de comandă automată mecanică a electrovalvei comenzii de închidere, analog acelora cu care sînt echipate DRI.

g. Dispozitive de acţionare tip DSI. Dispozitivul de acţionare DSI foloseşte energia electrică preluată dintr-o reţea de curent continuu de 110 sau de 220 V pentru închiderea întreruptoarelor şi pentru pregătirea deschiderii lor.

Construcţia acestui dispozitiv este analoagă dispozitivului DPI şi se compune din următoarele părţi: mecanismul motor al închiderii; mecanismul de închidere şi de deschidere liberă; mecanismele de comandă şi de semnalizare.

Mecanismul motor al închiderii constă dintr-un electromagnet cilindric al cărui miez se află, în situaţia normală, în carcasa unui amortizor de cădere. Bobina electromagnetului este montată într-un cilindru, care este asamblat prin tiranţi în acelaşi fel ca cilindrul DPI. În partea de jos a carcasei amortizorului se găseşte pîrghia închiderii manuale de reglaj. Pe braţul liber al acestei pîrghii se instalează o ţeavă de acţionare, lungă de 600—800 mm. Închiderea întreruptorului de la această pîrghie se face numai în cadrul montajului şi al reviziilor pentru a se controla şi regla mersul ansamblului DSI-întreruptor. Se precizează că închiderea sub tensiune a întreruptorului cu ajutorul acestei pîrghii este interzisă.

Mecanismul de închidere şi de deschidere liberă are construcţia identică cu a aceluia de la DPI, descris anterior.

Mecanismele de comandă şi de semnalizare sînt analoage sau identice cu acelea ale DPI.

Închiderea întreruptorului se poate comanda numai electric, de la distanţă prin intermediul unui contactor. Deschiderea întreruptorului se poate comanda:

— local, manual, prin împingerea în sus a bolţului de la electromagnetul de comandă;

— de la distanţă, electric, prin electromagnetul de deschidere.

Închiderea întreruptorului se petrece în acelaşi fel ca la DPI, cu diferenţa că în acest caz comanda de închidere este realizată de un contactor care leagă bobina electromagnetului de sursa de curent. Prin analogie cu DPI, în cazul DSI, nu va avea loc rămînerea întreruptorului în poziţia închis dacă:

— tensiunea sursei de c.c. este scăzută, astfel ca electromagnetul să nu poată dezvolta energia necesară închiderii complete (pînă la capăt);

— autodeconectarea bobinei contactorului se produce prea devreme (înainte de a se fi predat miezului electromagnetului energia necesară închiderii întreruptorului);

— nu are loc blocarea bolţului de către pîrghia de reţinere;

— bielele nu sînt readuse în poziţia lor normală, convexă.

Deschiderea întreruptorului. Atît comanda de deschidere cît şi oscilaţia de deschidere se petrec în acelaşi mod ca la DPI. Reînchiderea automată rapidă se poate realiza, de asemenea, numai printr-o comandă electrică.

h. Dispozitivul de acţionare oleopneumatic tip MOP—1. Dispozitivul de acţionare oleopneumatic este folosit pentru acţionarea întreruptoarelor tip IO—110—220 kV—1600 A. Acţionarea se face trifazat printr-un singur dispozitiv sau monofazat, în acest caz fiind necesare în total trei dispozitive.

Acţionarea întreruptorului IO—220—1600 sau IO—400—1600 se face numai monofazat, utilizîndu-se în acest scop trei dispozitive de acţionare.

La simbolizarea acestui dispozitiv, se notează:

M — Mecanism, *O* — Oleo şi *P* — Pneumatic, iar cifra *1* reprezintă varianta constructivă *1*.

Mecanismul MOP—1 este un dispozitiv de acţionare cu acumulare de energie, sub formă de gaz comprimat (azot), într-un ansamblu compus dintr-un acumulator şi o butelie, montate în cabina mecanismului.

Energia eliberată, produsă printr-o detentă parţială a gazului comprimat, este transmisă hidraulic la mecanismul cu piston cu dublu efect, montat pe polul întreruptorului, prin două ansamble de valve (pentru închidere şi pentru deschidere), un ansamblu ţevărie şi o coloană izolantă de înaltă presiune.

În figura 4.46 este descris echipamentul hidraulic al MOP—1 care se compune din:

— un ansamblu de compresie conţinînd: rezervorul de ulei; un filtru; o pompă antrenată de un motor; o supapă de siguranţă şi o clapetă de dirijare;

— un dispozitiv de acumulare a energiei compus din: un acumulator şi butelia sa; un rezervor şi un presostat de semnalizare;

— două ansambluri bloc — valve, unul pentru închidere şi altul pentru deschidere, amplasate în interiorul rezervorului de ulei;

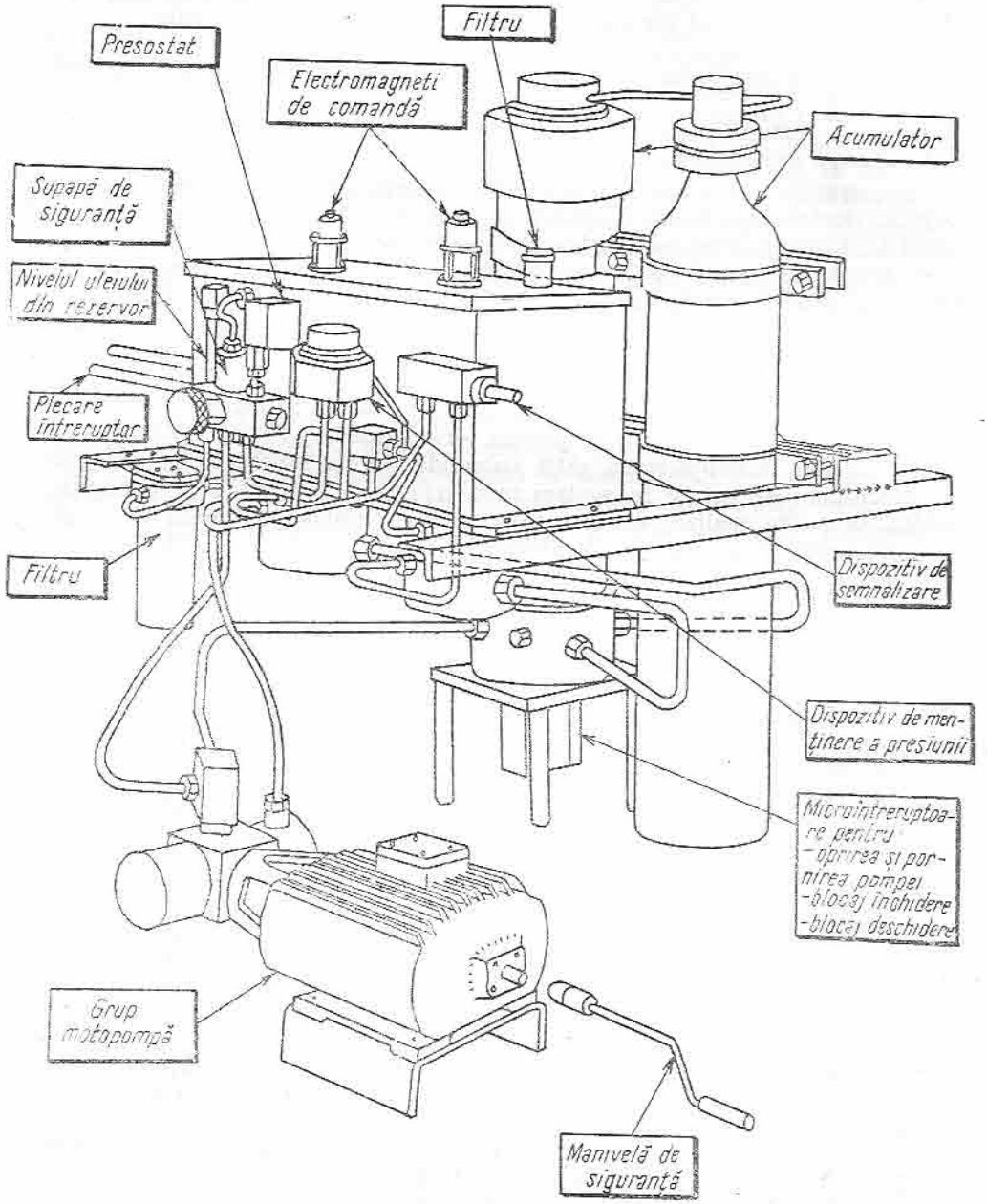

Presostat
Filtru
Electromagneti de comandă
Acumulator
Supapă de siguranță
Nivelul uleiului din rezervor
Plecare întreruptor
Filtru
Dispozitiv de semnalizare
Dispozitiv de menținere a presiunii
Microîntreruptoare pentru
- oprirea și pornirea pompei
- blocaj închidere
- blocaj deschidere
Grup motopompă
Manivelă de siguranță

Fig. 4.46

— un dispozitiv de menținere a presiunii (detector) asigurînd în permanență umplerea cu ulei a tuburilor de comandă (menținerea unei presiuni de la 1 la 3 at.)

Echipamentul electric (fig. 4.47) se compune din:

— electromagneții de închidere I și deschidere D;

— butoanele de închidere B_i și deschidere B_d;

— un releu de blocaj la închidere RIB_i care interzice închiderea întreruptorului în cazul scăderii presiunii azotului sau uleiului;

— un releu de blocaj la deschidere RIB_d care asigură, în cazul scăderii presiunii uleiului, blocajul întreruptorului în poziția închis sau deschis la alegere;

— un releu de antipompaj RAP;

— un contactor CM care asigură alimentarea motorului M, deci pornirea și oprirea pompei;

— un contact de siguranță C interzicînd excitarea bobinei acestui contactor, dacă manivela pentru pornirea manuală a motorului este introdusă în dispozitiv;

— trei microîntreruptoare, comandate de tija pistonului acumulatorului, asigurînd alimentarea celor două relee de blocare (CB_i și CB_d) și a bobinei contactorului motorului (U);

— un presostat PR asigurînd semnalizarea presiunii scăzute a azotului;

— un dispozitiv de încălzire, intermitent, cu o rezistență comandată de termostat F_h;

— o rezistență de încălzire permanentă R_p.

Racordarea la întreruptor se face în modul următor: ansamblul țevilor de înaltă presiune leagă valvele principale ale mecanismului cu tuburile izolante, montate în interiorul coloanei de izolatoare suport, pe care se montează ansamblul V cu camerele de stingere ale întreruptorului. Alte țevi de înaltă presiune leagă ieșirile superioare ale tuburilor izolante la dispozitivul fiecărui mecanism. Această legătură este făcută, fie direct, fie prin intermediul unui racord de distribuție cu mai multe căi. În alte cazuri, se montează unul sau două acumulatoare de joasă presiune pentru alimentarea dispozitivului de acționare a mecanismului. Acumulatoarele de joasă presiune sînt montate la nivelul mecanismului.

Funcționarea mecanismului poate fi urmărită în figura 4.47.

Funcționarea la închidere. Prin apăsarea pe butonul de închidere se pune sub tensiune electromagnetul de închidere *I*. Această comandă poate fi menținută pînă la întreruperea circuitului de închidere prin acțiunea dispozitivului de semnalizare *DS*. Întreruperea circuitului electric de închidere se face după închiderea întreruptorului. Electromagnetul *I* apasă pe butonul *1* al valvei *VI* care începe să obtureze orificiul *2* de comunicare cu rezervorul și apoi împinge bila *3*. Uleiul sub presiune care sosește prin conducta *4*, ocolind bila *3*, trece pe de o parte în conducta *6* pentru a elimina comanda de deschidere eventuală în curs (cazul reînchiderii rapide) și pe de altă parte, traversează clapetele *7* și *5* (aceasta din urmă nu permite trecerea uleiului decît dacă în conducta ce duce la întreruptor a blocului de valve opuse nu mai este altă presiune). Uleiul sub presiune pe de o parte acționează pistonul *9* care apasă bila *12* și închide orificiul *10* de

legătură cu rezervorul așezîndu-se pe scaunul său *11*, iar pe de altă parte prin intermediul conductei *8* așază pe scaunele lor valvele *33* și *34*. În continuare, uleiul sub presiune (care soseşte prin conducta *13*), prin orificiul eliberat de bila *12* pune sub presiune conducta *14* spre clapeta *34* și împinge pistonul *18* care, pe de o parte deschide clapeta *19*, iar pe de altă parte obturează orificiul *16* făcînd comutația înaltei presiuni cu camera *15*. Uleiul de înaltă presiune care soseşte prin conducta *20*, ocoleşte clapeta *19* și alimentează mecanismul cu piston cu dublu efect *DP* prin intermediul conductelor *21* și *22*.

Alimentarea mecanismului *DP* se face astfel la apariția uleiului sub presiune care vine din acumulatorul *A* prin conductele *21* și *22* spre clapeta *C*, supapa *37* este apăsată energic pe scaunul său *38*, interzicînd orice comunicație cu rezervorul de expansiune *RE* corespunzător. Uleiul sub presiune este deci dirijat automat spre mecanismul *DP* trecînd prin diafragma *39*. Pistonul mecanismului *DP* este împins și produce închiderea întreruptorului. După terminarea manevrei, cînd valva *19* este închisă, uleiul din cilindrul *DP* se evacuează: la început, prin deschiderea supapei *37*, majoritatea în rezervorul de expansiune *RE* și o mică parte prin conducta *22* și apoi sub pistonul conic *16* și prin clapeta de joasă presiune *17* în rezervorul *R*.

Cu puțin înaintea terminării închiderii întreruptorului contactul *CS* acționat de dispozitivul *DS* întrerupe circuitul electromagnetului *I*; bila *3* revine în poziția inițială, însă supapa de sens unic *7* și supapa de autoalimentare interzic revenirea pistonului *9*. La sfîrșitul închiderii întreruptorului, uleiul din mecanismul *DS* se destinde prin supapele *16* și *17*, în rezervorul *R*, la fel ca uleiul din conducta *40*. Fiind alimentat temporizat la partea inferioară, pistonul *25* se deplasează în sus și acționează pistonul *28*. Cursa pistonului *25* durează un timp mai mare decît cursa pistonului principal de antrenare a contactelor întreruptorului *DP*. Pistonul *28* închide mai întîi orificiul de acces *42* spre rezervor și apoi deschide bila *29* permițînd accesul uleiului de înaltă tensiune prin conducta *30* pe fața superioară a pistonului *31*; acesta prin intermediul pistonului *36* deschide supapa *33*. Ca urmare, uleiul care menține supapele *7* și *9* este evacuat în rezervorul *R* prin conducta *8* și orificiul *35*; prin aceasta supapele *7* și *9* revin în poziția inițială. Revenind, valva intermediară deschide accesul spre rezervorul *R* uleiului care acționează asupra pistonului *18* aparținînd supapei principale *18*, *19*. Pistonul *18* se ridică și supapa *19* revine pe scaunul său. În același timp se evacuează și uleiul de sub supapa *34* prin conducta *14*. Uleiul de la pistonul *25* se evacuează prin conducta *23*, orificiul *24* și clapeta *17*, de asemenea în rezervorul *R*. Cînd presiunea asupra pistonului *25* este suficient de mică, acesta revine în jos sub acțiunea uleiului de înaltă presiune din conducta *13*, eliberează pistonul *28* și tubul *30* este pus la presiunea rezervorului prin orificiul *42*. Pistoanele *31* și *36* se ridică, clapeta *33* revine în poziția inițială și întreg ansamblul revine în starea inițială.

Funcționare la închiderea pe scurtcircuit. În acest caz se presupune că cu puțin înaintea terminării cursei de închidere, cînd electromagnetul *I* a fost decuplat prin contactul *CS*, a apărut comanda de deschidere. În acest caz, pistonul *36* se alimentează de la valva *VD*, deschide clapeta *33* și așază clapeta *34* pe scaunul său.

Conducta *8* se pune la presiunea rezervorului şi procesul de revenire în starea de repaus a valvei de închidere se petrece la fel ca mai sus.

Comanda de deschidere se va putea apoi executa, cînd presiunea în conducta *40* va fi suficient de slabă pentru ca clapeta *5'* să revină în poziţia de repaus, permiţînd astfel executarea comenzii de deschidere.

Funcţionarea la deschidere. Închiderea butonului B_d pune sub tensiune electromagnetul de deschidere *D* care acţionează asupra valvei *VD*.

Funcţionarea valvei este identică cu cea descrisă la închidere. Cu puţin înainte de terminarea deschiderii, contactului de semnalizare *CS*, acţionat de dispozitivul de semnalizare *DS*, întrerupe circuitul electromagnetului de deschidere *D*.

Funcţionarea la deschiderea simplă. Dacă nu este dată nici o comandă de reînchidere, terminarea cursei de deschidere este asigurată prin existenţa clapetelor *7* şi *34* şi a valvei *VTD* de deschidere.

Funcţionarea la deschiderea urmată de reînchiderea rapidă. Dacă deschiderea este urmată de o comandă de reînchidere, aceasta din urmă elimină comanda de deschidere prin acţiunea pistonului *36'* asupra clapetelor *33'* şi *34'*. Comanda de reînchidere se va executa deci, atunci cînd presiunea în conducta *40'* va fi suficient de slabă pentru revenirea în poziţia iniţială a clapetei *5*, care permite executarea ciclului de închidere normal.

Menţinerea uleiului în tuburile izolante, în starea de repaus. În starea de repaus (întreruptorul fiind închis sau deschis) umplerea permanentă a tuburilor *22* şi *22'* este asigurată de dispozitivul de menţinerea presiunii. Clapetele *17* şi *17'* asigură menţinerea coloanei de ulei în *22* şi *22'* şi evită ca aceste tuburi să fie supuse la suprapresiuni periculoase în cazul dilatării termice. Conducta *43* permite echilibrarea presiunii joase din tuburile *22* şi *22'*, deci feţele pistoanelor mecanismului *DP* şi dispozitivul *DS*.

Antipompajul (protecţia contra săriturilor). Se realizează prin releul *RAP* care este alimentat simultan cu electromagnetul de deschidere *D*. Contactul normal închis al releului *RAP* elimină comanda de închidere în timpul manevrei de deschidere. Releul *RAP* se autoalimentează printr-un contact de reţinere atîta timp cît butonul B_i este menţinut în poziţia închis, interzicînd o nouă închidere. O nouă comandă de închidere nu poate fi dată decît după deschiderea butonului B_i, deschidere care întrerupe alimentarea releului *RAP* permiţînd contactului normal închis să se reînchidă.

Blocajul la închidere. La scăderea presiunii azotului din acumulator (scăpări de azot), contactul presostatului *PR* se închide punînd sub presiune releul RIB_i, care printr-un contact nu permite trimiterea unei comenzi de închidere. Releul RIB_i comandă o semnalizare luminoasă instantanee *SL* şi o semnalizare sonoră întîrziată, evitîndu-se astfel semnalizarea sonoră nedorită în cazul unei scăderi normale momentane a presiunii (la manevrarea întreruptorului).

Blocajul închiderii se obţine şi prin microîntreruptorul *MI*, în cazul în care volumul de ulei din acumulator nu este suficient pentru a asigura o manevră corectă.

Blocajul la deschidere. Blocajul deschiderii se face prin microîntreruptorul *MD* în cazul în care volumul de ulei din acumulator nu este suficient pentru

a asigura o manevră corectă. Acest microîntreruptor alimentează releul RIB_d, care în funcție de poziția cheii de comandă poate deschide automat sau poate întreține deschiderea întreruptorului. Modul de funcționare rămîne la alegerea beneficiarului. Totodată acest releu comandă o semnalizare de defect.

Mecanismele oleopneumatice MOP—1 se livrează reglate gata pentru a fi cuplate cu întreruptoarele respective. La montaj se va controla corespondența între marcajele de pe etichetele mecanismului MOP—1 și cele de pe întreruptorul pentru care acesta este destinat.

La amplasare se verifică dacă cotele de montaj ale mecanismului în raport cu întreruptorul corespund desenului de gabarit al întreruptorului. Mecanismul MOP—1 se pune în locul său fără a-l fixa; fixarea nu se va face decît după ce se vor strînge țevile și racordurile. Se urmărește ca mecanismul oleopneumatic să fie montat orizontal. În figura 4.48 sînt date dimensiunile de gabarit ale mecanismului MOP—1.

Față de dispozitivele de acționare mecanice (cu resort) dispozitivul oleopneumatic prezintă următoarele avantaje.

1. Permite realizarea unor energii de acționare foarte mari, la nivelul cerut de puterile de rupere din ce în ce mai mari ale întreruptoarelor moderne.

Nu mai sînt necesare o serie de dispozitive de fixare și rigidizare care complică elementele de calcul ale fundațiilor întreruptoarelor.

2. Mare suplețe în funcționare, datorită unei mai bune compensări între cuplul motor al dispozitivului de acționare și cuplul rezistent al întreruptorului la anclanșare.

La dispozitivul de acționare cu resort, cuplul motor scade pe măsură ce cuplul rezistent crește, masa în mișcare jucînd rolul unui volant indispensabil.

La dispozitivul de acționare oleopneumatic, cuplul motor disponibil este relativ constant și totdeauna mai mare decît cuplul rezistent de-a lungul întregii manevre. Acest lucru se obține datorită puterii specifice ridicate a acestui dispozitiv de acționare și volumului redus al dispozitivului hidraulic cu dublu efect în comparație cu volumul acumulatorului.

Excedentul de energie disponibilă, capabil să compenseze orice variație a cuplului rezistent, așa cum este cazul anclanșării pe scurtcircuit, este absorbit sub formă de pierderi de sarcină.

Aceste pierderi fiind proporționale cu pătratul vitezei fluidului, rezultă că un excedent considerabil de energie poate fi absorbit sau furnizat, după caz, pentru o variație foarte redusă a vitezei, ceea ce permite o bună amortizare la sfîrșitul cursei contactului mobil și deci evitarea șocurilor mecanice.

3. Suprimarea dispozitivelor de ancorare a întreruptorului, care la puteri mari de rupere sînt dificil de realizat.

De remarcat că sistemul oleopneumatic nu comportă punerea sub presiune a conductelor de ulei de legătură dintre dispozitivul de acționare propriu-zis și fazele întreruptorului decît pe durata efectuării manevrelor și astfel se evită inconvenientele unei eventuale oboseli a instalației.

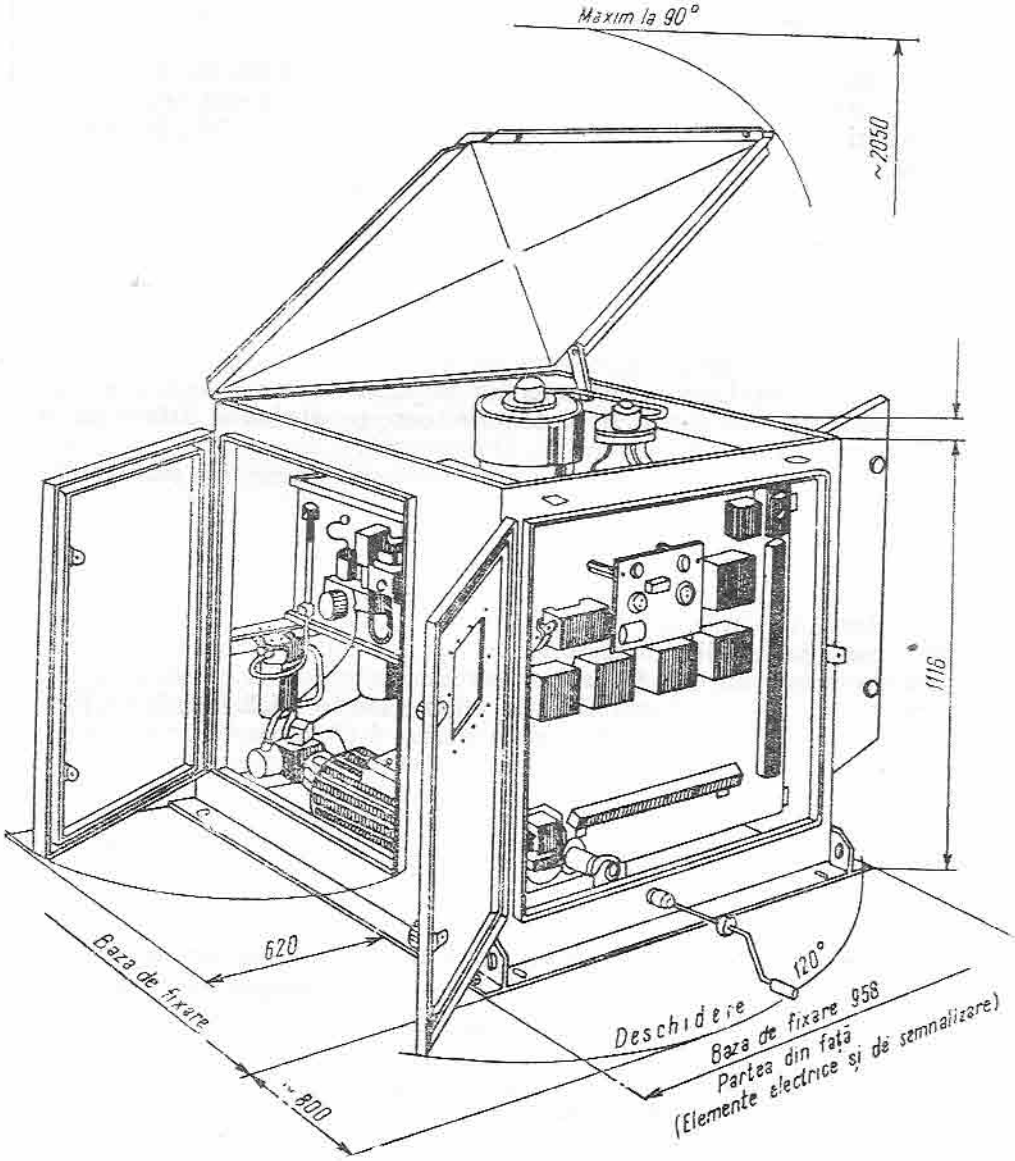

Maxim la 90°
~2050
1116
620
Baza de fixare
~800
Deschidere
120°
Baza de fixare 958
Partea din față
(Elemente electrice și de semnalizare)

Fig. 4.48

4.2. Separatoare de înaltă tensiune

4.2.1. Generalități

Separatoarele intră în categoria aparatelor electrice de comutație și pot fi definite ca fiind aparate de conectare care asigură pentru motive de securitate, în poziția deschis, o distanță de izolare vizibilă în cadrul circuitului electric din care face parte.

Prin montarea separatoarelor este posibilă efectuarea de revizii la întreruptoare, controlul stării izolatoarelor suport sau de trecere, schimbarea fuzibilelor siguranțelor de înaltă tensiune, examinarea cutiilor terminale ale cablurilor, a conductoarelor liniilor electrice, a descărcătoarelor etc. fără a se scoate de sub tensiune întreaga instalație.

De asemenea, de foarte multe ori în exploatare este necesar să se facă modificări în schemele instalațiilor energetice, legate de o mai bună funcționare sau deservire a consumatorilor (separarea unor porțiuni din rețea, trecerea de pe un sistem de bare colectoare pe al doilea sistem de bare colectoare, legarea la pămînt a liniilor etc.).

Pentru efectuarea acestor operații, instalațiile energetice sînt prevăzute cu separatoare.

Separatorul este utilizat pentru deschiderea sau restabilirea unui circuit, atunci cînd se întrerupe sau se restabilește un curent de valoare mică sau cînd nu se produce nici o schimbare de tensiune la bornele fiecărui pol al separatorului. Sînt cazuri cînd cu ajutorul separatoarelor se efectuează unele manevre în instalațiile energetice cum ar fi, de exemplu, deconectarea curenților de magnetizare ai transformatoarelor de putere mică sau a curenților nominali ai transformatoarelor de putere foarte mică (tabelul 4.10).

Rolul separatorului este deci de a separa față de sursă o parte a instalației și această separare trebuie să fie văzută de operator.

Separatorul trebuie să poată suporta curentul de lungă durată, curentul nominal, în condiții normale de funcționare ale circuitului și, de asemenea, să suporte un curent mare de durată scurtă în cazul scurtcircuitelor.

Tabelul 4.10

Deconectarea transformatoarelor cu separatoare de interior cu acționare manuală rapidă

Felul deconectării	Tensiunea de serviciu [kV]	6	10	20	25	30
Deconectarea în gol a transformatoarelor cos $\varphi = 0,1$	Puterea nominală a transformatorului [kVA]	400	315	250	400	250
	Curentul cel mai mare întrerupt [A]	6	3	1,25	1,25	1,0
Deconectarea în sarcină a transformatoarelor cos $\varphi = 0,7$	Puterea nominală a transformatorului [kVA]	75	50	50	75	50
	Curentul nominal la plină sarcină [A]	10	4	1,6	1,8	1,25

Deschiderea separatorului trebuie să fie precedată de deconectarea întreruptorului de înaltă tensiune corespunzător. Separatorul neavînd dispozitiv de stingere a arcului electric, deschiderea lui sub sarcină poate să conducă la producerea unui scurtcircuit cu urmări grave pentru operator, cît şi pentru instalaţia respectivă, datorită arcului electric care se formează între contactele sale.

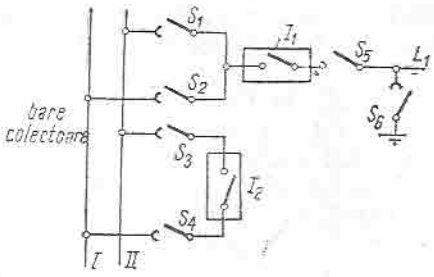


Fig. 4.49

Într-o instalaţie energetică separatorul permite efectuarea transferului de energie între sistemele de bare colectoare şi plecări sau sosiri. Cu ajutorul separatoarelor S_1 sau S_2 se poate face cuplarea liniei L_1 la unul din cele două sisteme de bare colectoare *I*, *II* (fig. 4.49).

Separarea liniei L_1 de restul instalaţiei se asigură prin manevrarea separatorului S_5; pentru a proteja personalul care eventual ar lucra pe linia L_1 deconectată la ambele capete este strict necesar ca linia să fie legată la pămînt prin separatorul de legare la pămînt S_6.

Separatoarele S_3 şi S_4 permit efectuarea transferului de energie între sistemele de bare colectoare *I* şi *II*.

4.2.2. Caracteristici constructive

Un separator este constituit din următoarele elemente principale: sistemul de contacte, sistemul izolator, dispozitivul de acţionare şi construcţia metalică de asamblare a elementelor de mai sus.

a. Sistemul de contacte comportă un contact fix şi un contact mobil (cuţitul) sau două contacte mobile, constituind calea de curent a separatorului.

Contactele separatoarelor pot fi liniare, plate, cilindrice şi de alte forme. Se construiesc din materiale bune conducătoare de electricitate, de preferinţă din cupru.

Pentru a micşora încălzirea contactelor, se realizează presiuni de contact corespunzătoare. La separatoarele construite pentru curenţi nominali mari, cuţitul este constituit din mai multe plăci paralele. Se mai utilizează secţiuni în U şi secţiuni tubulare (fig. 4.50).

Elementele care conduc la alegerea diferitelor tipuri de contacte sînt: densitatea de curent şi distribuţia ei; condiţiile de răcire a contactelor;

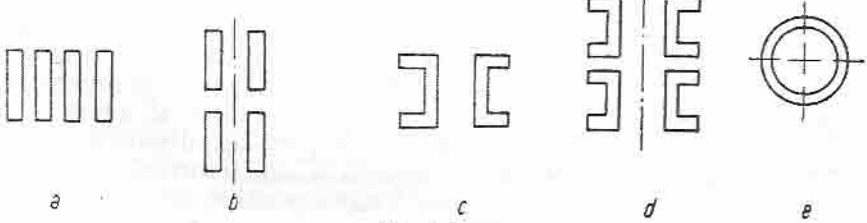


Fig. 4.50

efortul necesar pentru conectarea separatorului; factorul de uzură al materialului; reducerea acțiunii forțelor electrodinamice asupra cuțitelor.

Cuțitul din figura 4.50, *a* are o distribuție neuniformă a densității de curent între plăci și o răcire neuniformă a plăcilor.

Cuțitul conform figurii 4.50, *b* are o distribuție a densității de curent mult mai uniformă, curentul admisibil mult mai mare, și ca atare, un factor de uzură a materialului mult îmbunătățit.

Cuțitele din figurile 4.50, *c*, *d*, *e* prezintă o distribuție mai bună a densității de curent, o răcire mai bună și o utilizare mai bună a materialului.

În scopul de a se asigura o stabilitate termică suficientă, spre a se evita sudarea contactelor, la separatoarele construite pentru curenți de valori mari se utilizează presiuni de contact mari sau se sporește secțiunea cuțitelor. La aceste separatoare se folosesc unele dispozitive electromagnetice care asigură o presiune de contact ridicată.

Construcția acestor dispozitive electromagnetice se bazează pe acțiunea forțelor electrodinamice. La trecerea unor curenți mari aceste forțe măresc presiunea pe suprafețele de contact. Creșterea presiunii de contact este aproximativ proporțională cu pătratul curentului.

Pentru ca forțele electrodinamice importante ce apar în circuitul separatorului în cazul unui scurtcircuit să nu provoace o deschidere a acestuia, se iau următoarele măsuri:

— folosirea unei presiuni de contact suficiente;
— realizarea unei căi liniare de curent în circuitul separatorului;
— folosirea unor dispozitive mecanice sau electromagnetice care să împiedice deconectarea cuțitelor.

Pentru o bună exploatare a separatoarelor de exterior în condiții climatice care favorizează formarea chiciurii, s-au realizat contacte adecvate care să asigure spargerea gheții și îndepărtarea ei de pe contactele separatoarelor; spargerea gheții de pe contacte se realizează înainte de a începe cuțitul să iasă din contactul fix sau să intre în acesta (fig. 4.51).

Pentru a conecta la pământ părți ale unui circuit, unele separatoare sînt prevăzute și cu cuțite de legare la pământ.

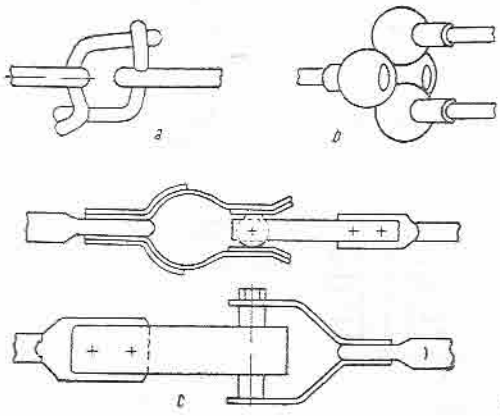


Fig. 4.51

b. Sistemul izolator este constituit din izolatoarele suport ale contactelor fix și mobil, precum și din tija izolantă care transmite mișcarea de la dispozitivul de acționare la cuțitul mobil.

c. Dispozitivul de acționare trebuie să asigure deschiderea și închiderea completă a separatorului, contactele mobile trebuind să ajungă la sfîrșitul cursei lor, independent de viteza de acționare.

Dispozitivele de acționare a separatoarelor, din punct de vedere al agentului de acționare se împart în: dispozitive manuale, dispozitive cu resorturi, dispozitive pneumatice, dispozitive cu acționare electrică.

Dispozitivele de acţionare manuală a separatoarelor se clasifică:

a. după construcţia dispozitivului: prăjini (ştăngi) pentru acţionare (pînă la 75 kV inclusiv); dispozitive cu pîrghie (tip AME şi AMI); dispozitive cu transmisie prin şurub melc-roată melcată; dispozitive cu volan;

b. după felul asamblării dispozitivelor de acţionare cu separatorul: dispozitive transportabile (prăjini pentru acţionare), dispozitive cuplate direct la separator, fără piese de transmisie a comenzilor de la distanţă; dispozitive cuplate la separatoare prin intermediul pieselor de transmisie a comenzilor de la distanţă (pîrghii, roţi dinţate, şurub melc-roată melcată, tije, lanţuri etc.).

Aceste dispozitive se realizează pentru a fi instalate în interior sau exterior, cu sau fără cumutator de semnalizare.

Prăjinile pentru acţionarea separatoarelor se confecţionează din: tub de pertinax, lemn sănătos impregnat, lustruit şi lăcuit.

Prăjina este prevăzută cu un şurub de legare la pămînt cu diametrul minim de 8 mm, din materialul inoxidabil sau protejat contra oxidării. Mînerul are o lungime de circa 1/2 din lungimea totală a prăjinii, dar minimum 400 mm, STAS 4082—68.

Dispozitivele de acţionare manuală a separatoarelor trebuie să fie prevăzute cu mecanisme de blocare prin zăvorîre sau prin lacăt cu cheie.

În figura 4.52 este prezentat un separator acţionat cu un dispozitiv tip AMI.

Dispozitivele cu resorturi se folosesc pentru separatoare de sarcină. La noi în ţară se fabrică

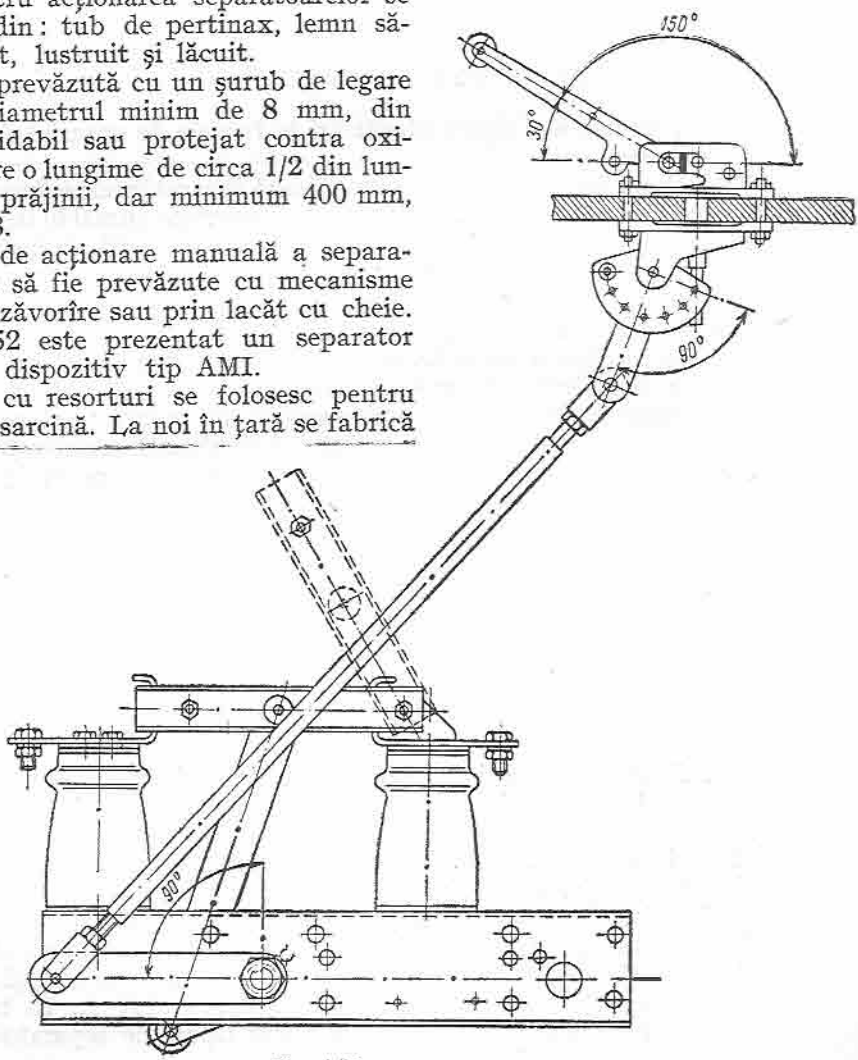


Fig. 4.52

tipul AC. Acţionarea separatorului echipat cu un astfel de dispozitiv este posibilă numai după armarea manuală a resorturilor.

Dispozitivele de acţionare pneumatice pentru separatoare se produc în următoarele variante:

— AP—1 cu un singur piston, cu dublă acţiune, transmisie prin pîrghie de la tija pistonului la pîrghia de pe axul separatorului.

— AP—2 şi AP—3, cu două pistoane solidarizate, unul pentru închiderea şi altul pentru deschiderea unui separator de interior cu transmisie directă.

— AP—4 şi AP—5, cu piston dublu, pentru separatoarele de exterior.

Dispozitivele cu acţionare electrică se folosesc pentru acţionarea separatoarelor de tensiuni mari şi de exterior. Acţionarea se face de către un servomotor electric. La noi în ţară se construieşte tipul ASE folosit la acţionarea separatoarelor de 110, 220, 400 kV.

4.2.3. Clasificarea separatoarelor de înaltă tensiune

Se pot face mai multe clasificări în funcţie de criteriul după care se face clasificarea.

a. După instalaţia în care se montează separatoarele se împart în două categorii: *de interior* — construite pentru a fi montate numai în instalaţii interioare şi *de exterior* — construite pentru montarea, de regulă, în instalaţii exterioare.

b. După numărul de poli: monopolare, bipolare, tripolare.

c. După modul de deplasare a contactelor mobile: *separatoare cuţit*, care au un contact fix şi un contact mobil, tip cuţit, ce se roteşte într-un plan ce conţine şi axele izolatoarelor polului respectiv; *separatoare rotative*, care au două contacte mobile ce se rotesc spre a se uni într-un plan perpendicular pe axele izolatoarelor suport ale polului; *separatoare basculante*, la care contactul mobil se roteşte (basculează) împreună cu un izolator suport în planul axelor izolatoarelor suport ale polului; *separatoare de translaţie*, la care contactul mobil execută o mişcare de translaţie spre contactul fix; *separatoare pantograf*, la care contactul mobil, de o construcţie specială, execută o mişcare după direcţia axei izolatorului suport.

d. După absenţa sau prezenţa dispozitivului de legare la pămînt: separatoare cu cuţite de legare la pămînt şi separatoare fără cuţite de legare la pămînt.

4.2.4. Tipuri constructive

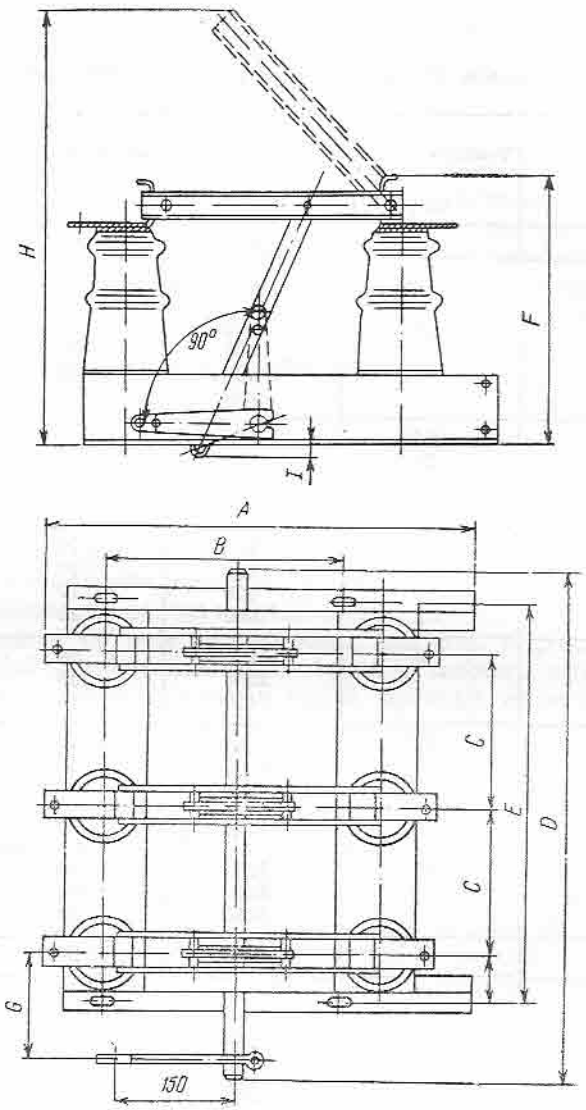
a. Separatoare de interior. Separatoarele de interior pot fi monopolare sau tripolare, cu cuţite de legare la pămînt sau fără cuţite de legare la pămînt. Marea majoritate se construiesc tip cuţit datorită gabaritului redus, simplităţii şi robusteţii. Se mai construiesc, de asemenea, şi tipuri basculante şi de translaţie. La noi în ţară se fabrică aproape toată gama de separatoare de interior de tipurile SMI, STI şi STIP (*S*—separator, *M*—monopolar, *T*—tripolar, *I*—de interior, *P*—cu cuţite de legare la pămînt) pentru tensiuni de 10—35 kV, la curenţi nominali de 200—800 A şi pentru tensiuni de 3—35 kV, la curenţi nominali de 1250—3150 A. În tabelul 4.11 sînt date caracteristicile tehnice ale acestor tipuri de separatoare fabricate de Electroputere Craiova.

Tabelul 4.11

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor produse de Electroputere Craiova

Tipul aparatului	Tensiunea nominală [kV]	Curentul nominal [A]	Valoarea efectivă a curentului limită termic la 1 s [kA]	Valoarea de vîrf a curentului limită dinamic kA
1	2	3	4	5
		Separatoare de interior		
SMI, STI, STIP	10	200 400 630 800	10 10 15 20	25 25 35 50
SMI, STI, STIP	(15) 20	200 400 630 800	10 10 10 20	25 25 25 25
SMI, STI, STIP	35	200 400 630 800	10 10 10 20	25 25 25 25
STI	3	1250 2000 3150	30 50 50	75 125 125
SMI, STI,	10	1250 2000 3150	30 50 50	75 125 125
STIP	10	1250	30	75
SMI, STI,	15	1250 2000 3150	30 40 50	75 100 125
STIP	15	1250	30	75
SMI, STI, STIP	35	1250	20	50
		Separatoare de exterior		
STE	10	200 400	10 15	25 38
STE	20	400	10	25
SME, SMEP, SBE, SBEP, STE, STEP	35	1250	30*	75
STE, STEP, SME, SMEP, SBE, SBEP	110	1250 1600	30 40	75 100
SME, SMEP	220	1600	31,5*	80
SME, SMEP	400	1600	40	100

* Valoarea pentru 4 s.



Tipul separatorului		Dimensiuni în mm									
		A	B	C	D	E	**F	G	**H	I	
STI-10 kV	200-400 A	482	260	250	936	682	275	235	440	40	
	600 A	527									
	800 A	567									
STI-20 kV	200-400 A	547	320	300	1030	788	360	235	570	40	
	630 A	592									
	800 A	632									
STI-35 k.	200-400 A	741	480	450	1584	1090	494	354	870	60	
	630 A	786									
	800 A	826									

Notă ** - cotă minimă

Fig. 4.53

În figura 4.53 sînt date dimensiunile de gabarit ale separatoarelor de tipul STI de 10, 20, 35 kV şi curenţi nominali 200, 400, 600 şi 800 A. Dimensiunile din tabelul din figura 4.53 sînt aceleaşi şi pentru separatoarele STIP de 10, 20, 35 kV şi curenţi nominali 200, 400, 600, 800 A din figura 4.54.

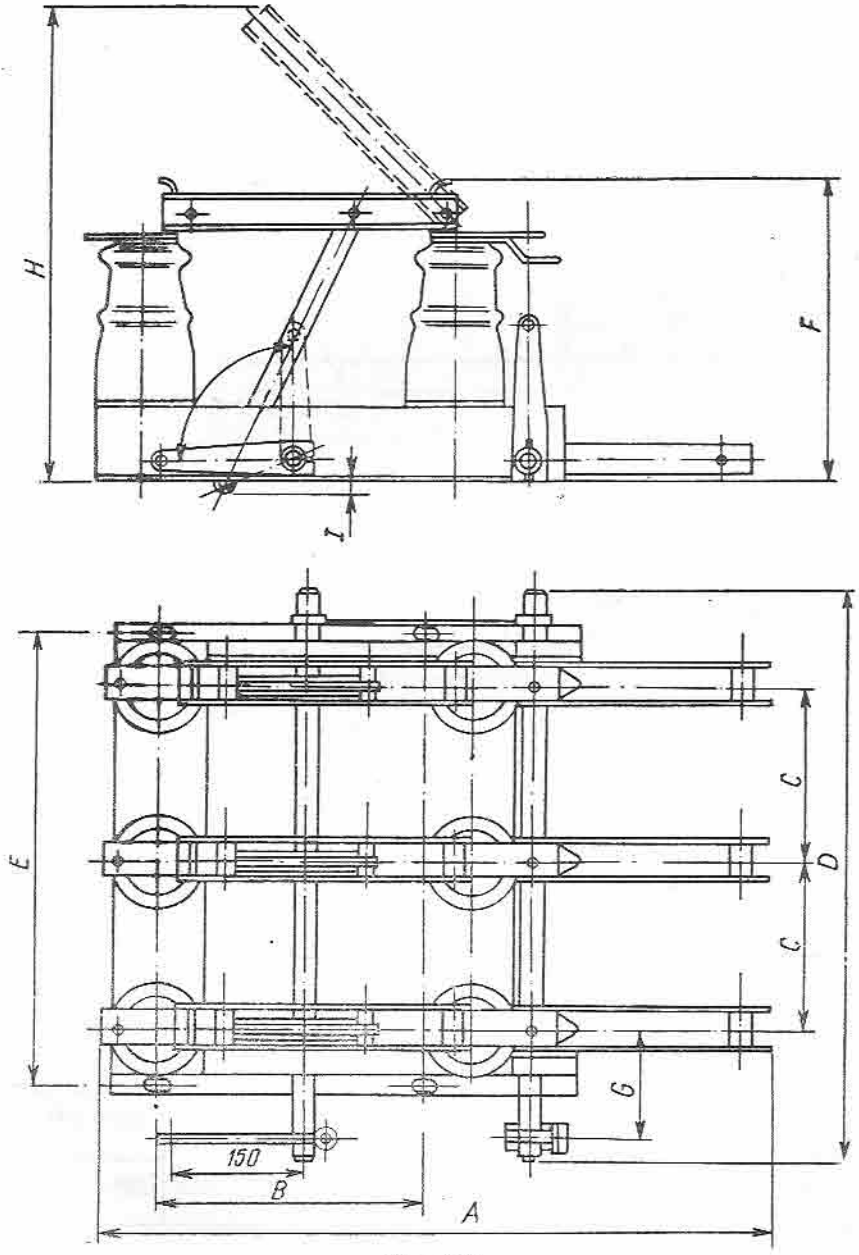
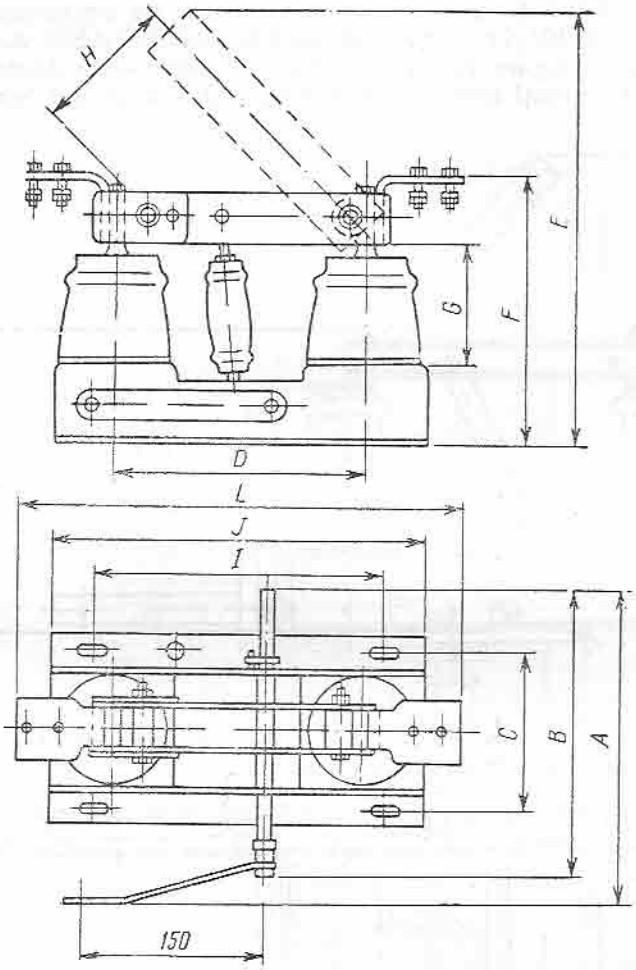


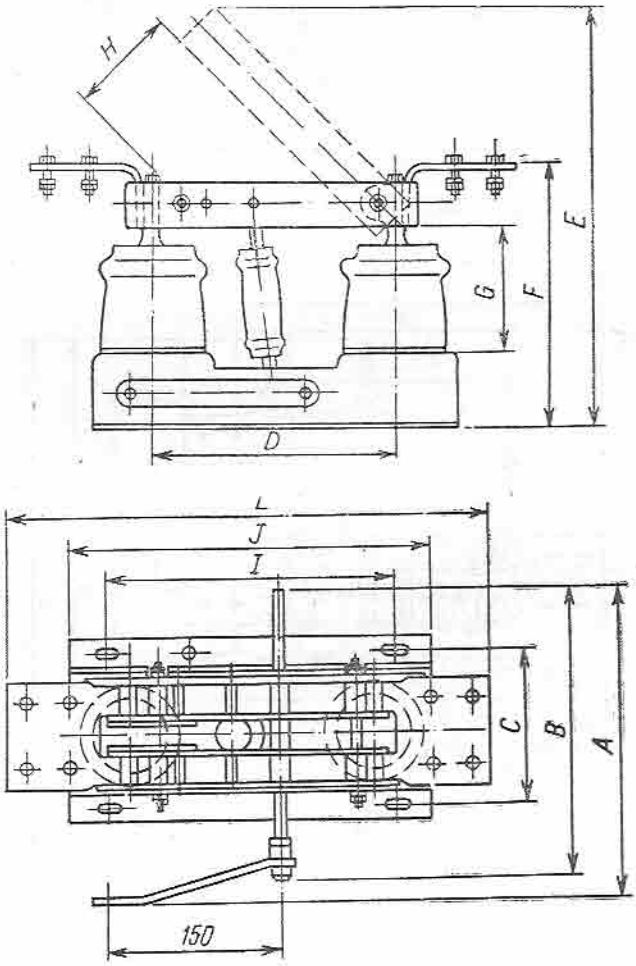
Fig. 4.54



Tipul separatorului	Dimensiuni in mm											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	
SMI-10 kV-1250 A	350	330	157	320	525	321	140	180	340	450	540	
SMI-15 kV-1250 A	370	340	192	400	625	375	190	230	430	550	628	
SMI-35 kV-1250 A	370	350	200	600	885	504	320	400	635	740	820	

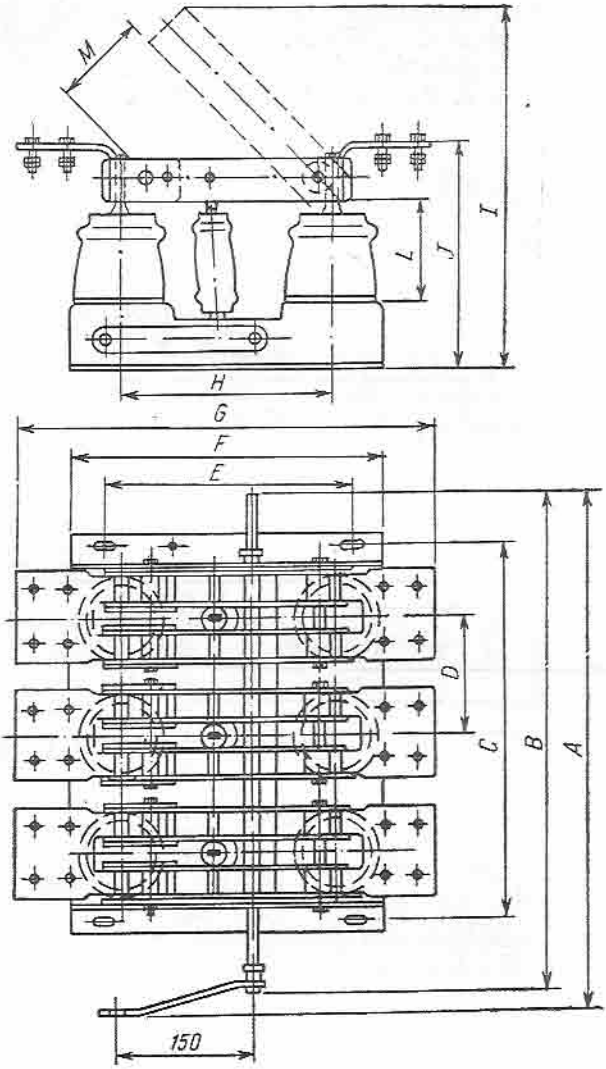
Fig. 4.55

În figura 4.55 sînt reprezentate separatoarele de tip SMI de 10, 15, 35 kV şi curent nominal de 1250 A. În tabelul din aceeaşi figură sînt date şi dimensiunile de gabarit. Dimensiunile de gabarit ale separatoarelor SMI de 2000 şi 3150 A sînt date în figura 4.56.



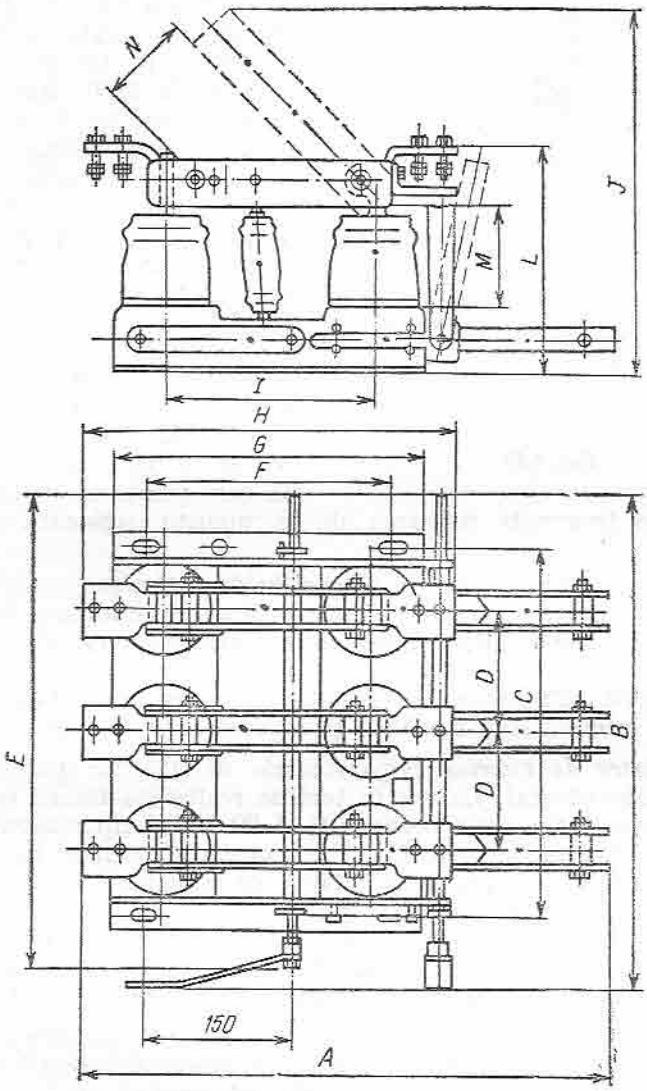
Tipul separatorului	Dimensiuni în mm											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	
SMI-15 kV/2000-3150 A	350	330	177	320	365	340	150	180	340	470	580 620	
SMI-10 kV/2000-3150 A	390	360	212	400	625	390	200	230	430	574	660 700	

Fig. 4.56



Tipul separatorului	Dimensiuni în mm											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M
STI-1(3) kV 2000-3150 A	700	677	517	170	290	435	550 590	290	445	320	130	90
STI-10 kV 2000-3150 A	850	825	677	250	340	470	580 620	320	565	340	150	180
STI-15 kV 2000-3150 A	1085	1060	912	350	430	574	660 700	400	625	390	200	230

Fig. 4.57



Tipul separatorului	Dimensiuni în mm.															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N			
STIP 10 kV-1250 A	730	850	657	250	825	340	450	540	320	525	321	140	180			
STIP 15 kV-1250 A	880	1060	890	350	1080	430	550	628	400	625	375	190	230			
STIP 35 kV-1250 A	1232	1275	1102	450	1250	635	740	820	600	888	504	320	400			

Fig. 4.58

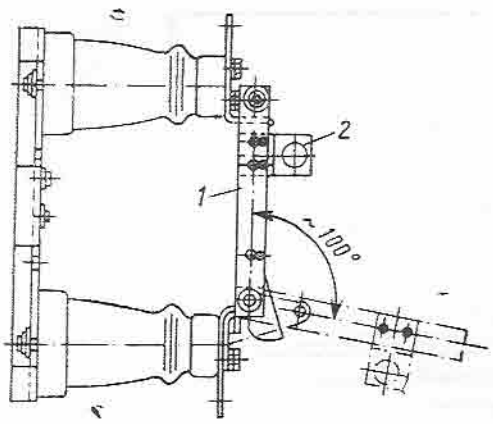


Fig. 4.59

În figura 4.57 și 4.58 sînt reprezentate separatoare tip STI și STIP de 3, 10, 15 și 35 kV și curenți de 1250, 2000, 3150 A cu dimensiunile lor de gabarit.

Acționarea acestor separatoare se poate face manual cu dispozitive de tip AMI sau pneumatic cu dispozitive de tip AP. În cazul acționării manuale cu ștanga izolantă, cuțitul mobil *1* al separatorului este prevăzut cu un ochi de pătrundere *2*, de care se agață cîrligul ștangii (fig. 4.59). În cazul acționării manuale cu dispozitivele de tip AMI, cuțitul mobil este prevăzut cu bară de material izolant, la care printr-un sistem de pîrghii articulate se transmite mișcarea de la maneta acționată de operator (fig. 4.52).

Separatoarele tripolare au un dispozitiv de acționare comun pentru cei trei poli. Cuțitele de legare la pămînt pot fi montate normal (pe contactul fix) la separatoarele STIP sau inversat (pe contactul mobil) la separatoarele STIPI.

Separatoarele cu mișcare de translație se folosesc în instalații capsulate. Tot pentru interior sînt realizate și separatoarele basculante.

b. Separatoare de exterior. Separatoarele de exterior pot fi tip cuțit, rotative, semipantograf. La noi în țară se realizează numai primele două tipuri și anume: tip cuțit pentru 10 și 20 kV și tip rotativ pentru 35, 110, și 400 kV. Pentru 10 și 20 kV se construiesc numai în execuție trifazată (tipul STE), iar pentru 35, 110, 220 și 400 kV în execuție monofazată (tipul SME sau SMEP). Beneficiarii au posibilitatea ca pentru 35 kV și 110 kV să realizeze în stații montajul bi sau tripolar al separatoarelor (tipurile STE, SBE, STEP, SBEP). Caracteristicile acestor separatoare fabricate la Electroputere Craiova sînt date în tabelul 4.11.

În figura 4.60 este prezentat un separator monopolar de exterior de 35 kV, cu cuțite de legare la pămînt, acționat pneumatic (dispozitiv tip AP—4). Separatorul se manevrează simplu. Prin intermediul pîrghiei *1* mișcarea de la dispozitivul de acționare se transmite la flanșa de acționare *2* care se rotește. Odată cu flanșa *2* se rotește și coloana izolatoare *3* legată rigid de flanșă. De la flanșa *2* prin intermediul tijei *4* se transmite o mișcare de rotație, în sens invers, la a doua coloană izolatoare. Prin rotirea coloanelor izolatoare cu 90° se obține și rotirea semicuțitelor *5* și *6* într-un plan orizontal. La rotirea coloanelor izolatoare bornele 7 aflate în partea de sus se rotesc. Reglarea presiunii de contact pe contactul dintre cuțite se face cu ajutorul șurubului *16*. Legătura între borna *7* și cuțitul *5* se face prin intermediul contactului tulipă *9* a cărui presiune se reglează cu șurubul *8*. Contactul *9*, șurubul *8* și resortul de presiune *14* sînt protejate prin capacul *15*. Pentru a se roti în jurul axului propriu *13* coloana izolantă

are la bază un lagăr aflat în suportul *12*. Cuțitul de legare la pămînt *10* se poate închide făcînd contact cu *11* numai cînd cuțitele *5* și *6* sînt deschise, blocajul mecanic nepermițînd închiderea lor simultană. Separatorul este prevăzut și cu posibilitatea acționării separatorului în cazul lipsei accidentale a aerului comprimat.

În figura 4.61 este prezentat separatorul STEP de 35 sau 110 kV, deosebirea între STEP 35 și STEP 110 constînd numai în dimensiunile de gabarit.

Separatoarele de 220 și 400 kV se construiesc numai monopolare.

Acționarea separatoarelor de exterior indicate în tabelul 4.11 se poate face manual cu dispozitive AME—5, la separatoarele de 35 și 110 kV, pneumatic cu dispozitive de tip AP—4 sau AP—5, cu servomotor electric cu dispozitive de tip ASE pentru 110—400 kV.

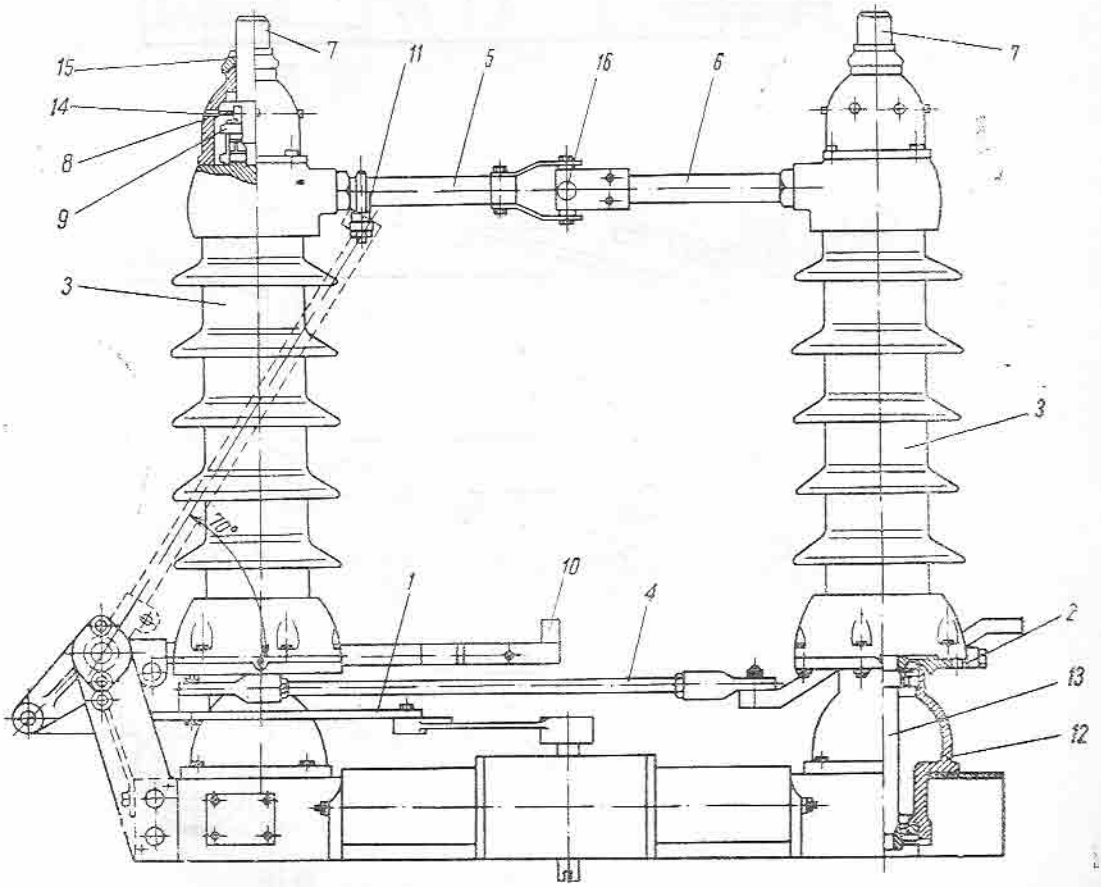


Fig. 4.60

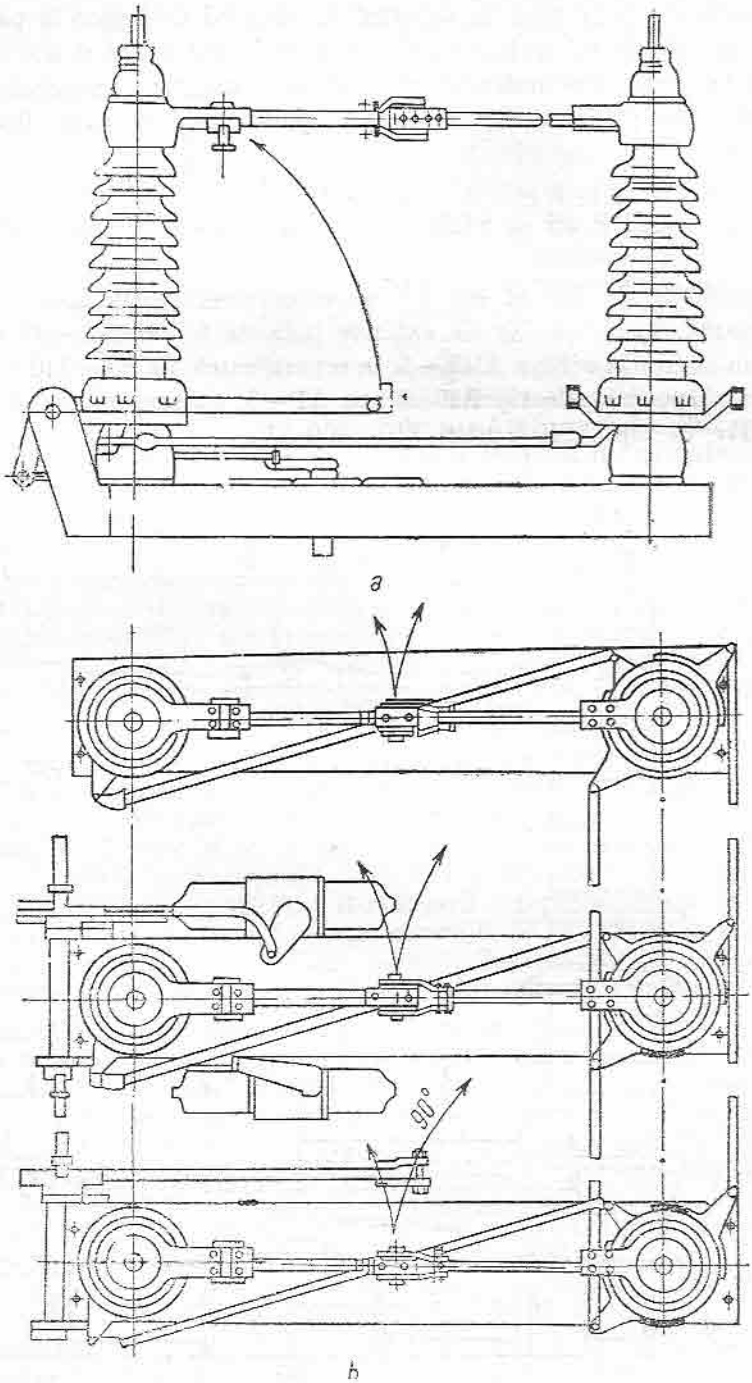


Fig. 4.61

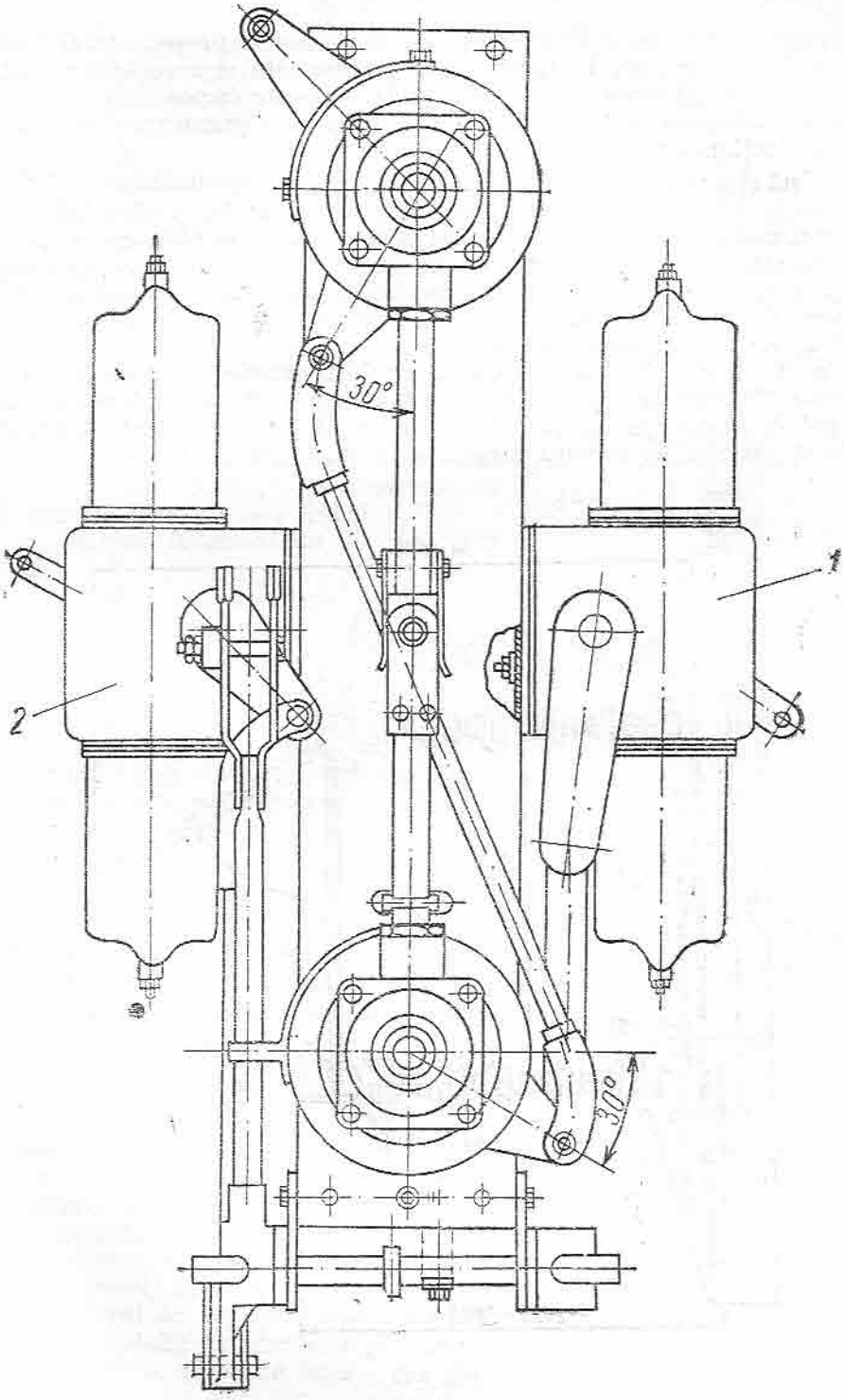


Fig. 4.62

Pentru acţionarea cuţitelor de legare la pământ se prevede un dispozitiv de acţionare separat. În figura 4.62, în care este reprezentată o vedere de sus a separatorului SMEP—35—1250 A, *1* este dispozitivul tip AP—4 pentru acţionarea cuţitelor principale, iar *2* este dispozitivul tip AP—4 pentru acţionarea cuţitelor de legare la pământ.

Există şi construcţii de separator tip cuţit pentru tensiuni de 110, 220 kV. În figura 4.63 este reprezentat un astfel de separator pentru 220 kV şi curenţi nominali de 600—1000 A. Contactul fix *1* se află montat pe izolatorul suport *3*. Tot pe acest izolator suport se află şi contactele de legare la pământ *5*. Cuţitul mobil *2* este montat pe un sistem de două izolatoare suport. Cuţitul de legare la pământ *4* este articulat cu piesa *6*, iar *7* este cadrul metalic al separatorului.

Un alt tip de separator folosit în instalaţii exterioare la tensiuni înalte şi foarte înalte este separatorul pantograf. Are o singură coloană izolantă pe pol şi construcţia sa este robustă şi simplă îndeplinind cele mai severe exigenţe cerute de o bună siguranţă în exploatare.

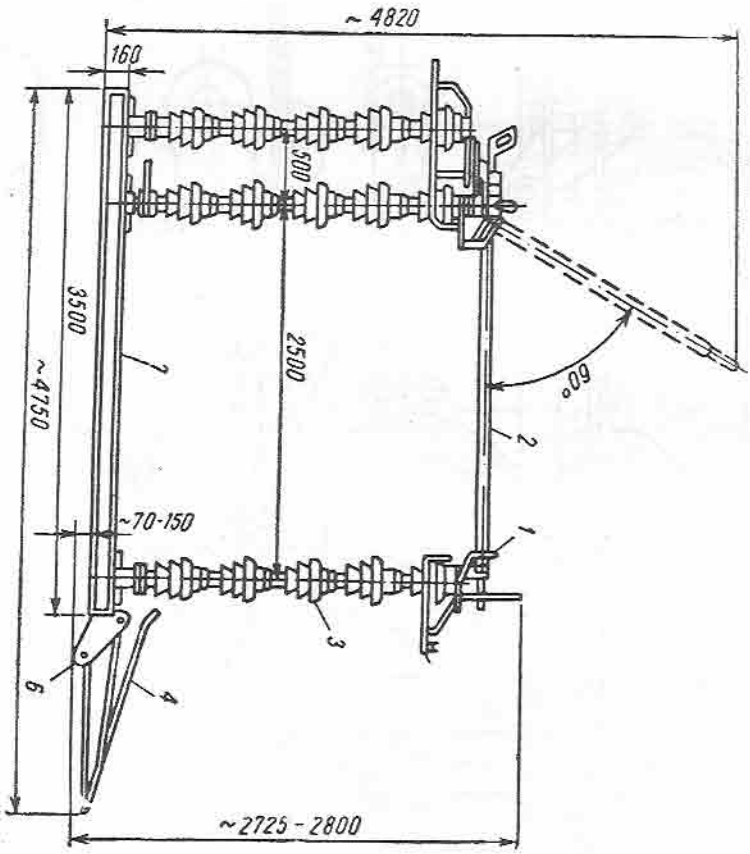


Fig. 4.63

Instalațiile energetice prevăzute cu separatoare pantograf au, față de instalațiile energetice echipate cu separatoare cu două sau trei coloane, următoarele avantaje menționate mai jos.

Pentru ansamblul instalației energetice:

— o reducere a terenului ocupat de instalție cu circa 10...30%. Reducerea crește odată cu creșterea tensiunii nominale a instalației;

— o reducere a volumului fundațiilor cu aproximativ 50%;

— folosirea unor cadre-portal mult mai simple, mai ușoare și de înălțime redusă, deoarece conductoarele sînt repartizate numai pe două niveluri;

— o utilizare mai rațională a terenului, mai ales acolo unde folosirea separatoarelor cu două sau trei coloane este dificilă;

— o estetică îmbunătățită a instalației energetice.

Pentru exploatarea instalației energetice:

— o supraveghere de ansamblu mai bună a tuturor elementelor instalației, care permite o departajare clară, netă și rapidă a elementelor aflate sub tensiune de cele fără tensiune;

— o revizie simplă a separatorului, care se poate efectua chiar cînd circuitul aflat la nivelul superior este sub tensiune;

— o întreținere redusă;

— o siguranță absolută la conectare și deconectare în orice condiții climaterice, chiar cînd separatorul este acoperit de gheață (chiciură);

— o siguranță totală împotriva deconectărilor intempestive;

— o rezistență bună la acțiunea agenților termici;

— o construcție foarte robustă;

— permite montarea fără dificultăți a unui dispozitiv de legare la pămînt.

Separatorul pantograf, așa cum se vede în figura 4.64, este compus din următoarele elemente principale: suportul metalic tubular *1*; coloana izolantă *4*; mecanismul de transmitere a comenzii *6*; pantograful propriu-zis (contactul mobil) *2*; contactul fix suspendat *14*; dispozitivul de acționare pneumatic *6*.

Suportul metalic tubular este prevăzut la capete cu cîte o placă de bază.

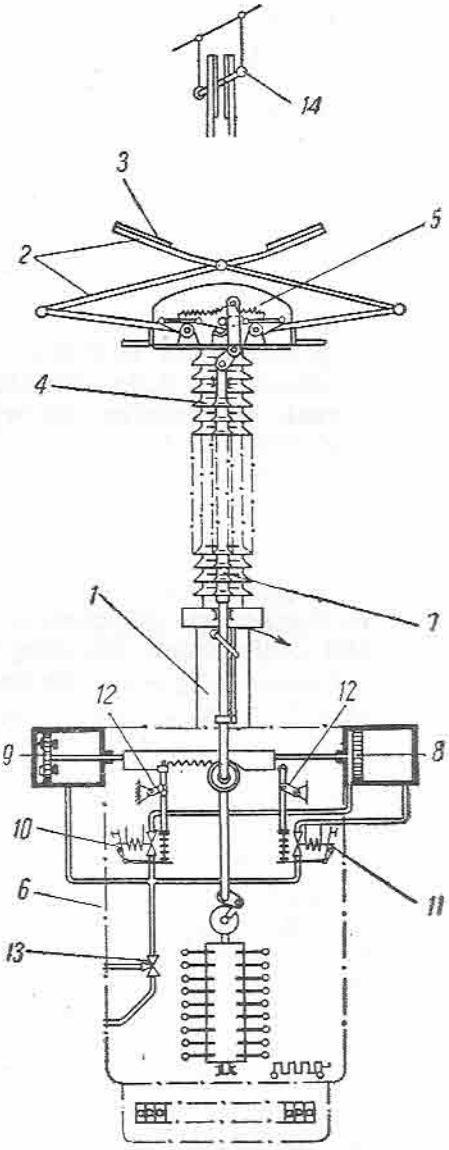


Fig. 4.64

La partea inferioară, placa de bază serveşte la fixarea separatorului pe fundaţie, cu ajutorul unor buloane de fixare; la partea superioară placa de bază este solidară cu flanşa suport a coloanei izolante. Suportul metalic tubular susţine şi dispozitivul de acţionare pneumatic *6*.

Coloana izolantă, montată în continuarea suportului metalic tubular, este constituită dintr-un izolator tip coloană corespunzător tensiunii nominale a separatorului.

Paralel cu izolatorul tip coloană se află un alt izolator *7*, tip coloană rotitor, de diametru mai redus, care constituie un ax al mecanismului de acţionare şi care este comandat de acesta.

Mecanismul de transmitere a comenzii *5* se află la partea superioară a coloanei izolante şi conţine un ansamblu de tije şi pîrghii care transformă mişcarea de rotaţie a axului mecanismului de acţionare într-o mişcare axială aplicată pantografului propriu-zis. De asemenea, mai conţine o serie de resorturi elicoidale care sînt destinate să reducă efortul de acţionare a pantografului la conectare.

Mecanismul *5*, în ansamblu, are o carcasă metalică la care sînt fixate bornele de racordare ale separatorului.

Pantograful propriu-zis *2* reprezintă contactul mobil al separatorului. Este format dintr-un sistem de bare articulate, confecţionate din aluminiu, avînd configuraţia unor foarfeci.

În poziţie deconectată, pantograful este ca o foarfecă deschisă. La conectare foarfeca se închide, fălcile superioare prinzînd între ele contactul fix *14* suspendat de conductoarele sistemului de bare colectoare. Presiunea de contact este asigurată de construcţia în sine a pantografului, iar fălcile sînt confecţionate din aliaj de aluminiu placat cu plăcile cupru *3*.

Contactul fix suspendat este o construcţie metalică confecţionată dintr-un aliaj de cupru. Această construcţie metalică este suspendată de conductorul sistemului de bare sau al liniei şi cuprinde o bară de contact care, în poziţia conectat, este prinsă ferm între fălcile pantografului.

Bara de contact, de formă cilindrică, poate fi suspendată fie paralel, fie perpendicular pe conductorul sistemului de bare colectoare sau al liniei electrice aeriene.

Piesele de contact — fălcile de la partea superioară a pantografului şi bara de contact suspendată — sînt astfel dimensionate încît să permită realizarea unui contact bun şi sigur în orice condiţii de exploatare. Astfel, la dimensionare se ţine seamă de deviaţia pe orizontală (datorită vîntului) şi pe verticală (datorită variaţiilor de temperatură şi chiciurei) a poziţiei barei de contact suspendate.

În figura 4.65, se arată domeniul de acţiune al fălcilor pantografului în diferite condiţii de exploatare (*a*, *b*, *c* — poziţii ale contactului fix la diverse temperaturi; *u*, *v*, *w* — poziţii ale contactului fix la diverse viteze ale vîntului; *I*—poziţia intermediară a fălcilor; *II*—poziţia închisă a fălcilor).

Dispozitivul de acţionare pneumatic asigură la conectare o mişcare lentă a pantografului, afară de sfîrşitul operaţiei de conectare, cînd fălcile pantografului apucă brusc şi foarte puternic bara de contact suspendată. La deconectare mişcarea se desfăşoară în mod invers.

În cazul în care lipseşte aerul comprimat sau circuitul electric de comandă este deranjat, dispozitivul de acţionare este prevăzut cu posibilitatea de acţionare manuală.

Fiecare fază a separatorului are dispozitivul său de acţionare.

Cînd separatorul este prevăzut cu dispozitiv de legare la pămînt, se montează încă un dispozitiv de acţionare pentru toate trei fazele, pneumatic, cu servomotor sau manual pentru acţionarea cuţitului de legare la pămînt.

Cuţitul de legare la pămînt, în poziţie deschisă, este perpendicular pe izolatorul tip coloană; la închidere, cuţitul se rabate în sus, devine paralel cu izolatorul tip coloană şi stabileşte contactul cu corpul mecanismului de transmitere a comenzii.

Separatorul pantograf este astfel construit încît acţionarea pantografului şi a cuţitului de legare la pămînt sînt independente. Totuşi construcţia permite realizarea unei blocări electrice.

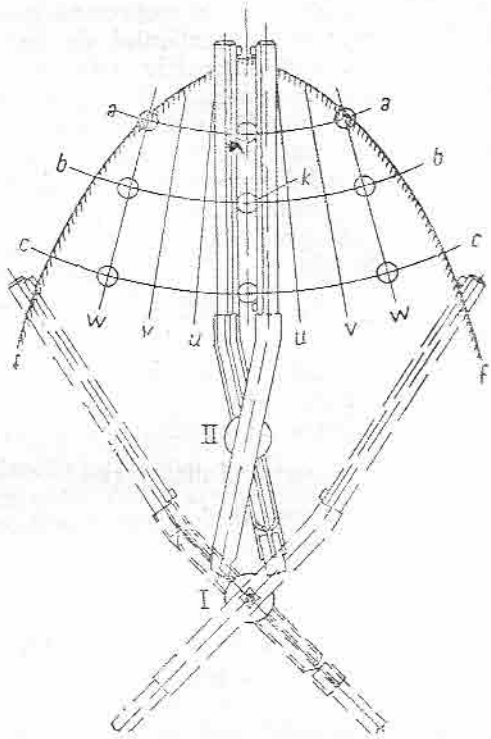


Fig. 4.65

Dispozitivul de acţionare este comandat electro-pneumatic. Greutatea proprie a pantografului este compensată de resorturile elicoidale ale mecanismului de transmitere a comenzii. Astfel se creează o rezervă de putere a dispozitivului de acţionare, necesară în cazul cînd trebuie ridicată o sarcină suplimentară datorită zăpezii sau gheţii sau trebuie spart stratul de gheaţă care acoperă eventual articulaţiile şi fălcile pantografului.

La conectare sau la deconectare, izolatorul rotitor se roteşte cu cîteva grade peste punctul mort, astfel încît este exclusă orice modificare spontană a poziţiei separatorului. În caz de dispariţie a tensiunii de comandă sau de lipsă a aerului comprimat sau cînd se sparge izolatorul rotitor, resorturile de compensare şi amortizorul pneumatic asigură o revenire a pantografului sub acţiunea greutăţii proprii, fără şocuri, în poziţia deconectat. De asemenea separatorul deconectează în mod automat, dacă la conectare nu se obţine presiunea de contact necesară, chiar dacă fălcile pantografului au atins bara de contact suspendată.

Principiul de funcţionare a dispozitivului de acţionare pneumatic se vede în figura 4.64.

Pistonul cilindrului motor *8* transmite mişcarea sa rectilinie prin intermediul unei cremaliere, către o roată dinţată de transmitere a comenzii cu ajutorul axului de comandă *7* şi al izolatorului rotitor. La deconectare, cursa pantografului este amortizată de pistonul cilindrului amortizor *9*.

Robinetul cu trei căi *13* pune sub presiune conductele spre ventilele de comandă (acţionate de electromagneţii *10* şi *11*), blochează conducta de alimentare şi evacuează aerul comprimat din circuitul de comandă.

Sistemul de acţionare pneumatic este prevăzut cu un dispozitiv de reţinere a ventilului de comandă.

Acest dispozitiv asigură o conectare sau deconectare completă, chiar dacă comanda dată este de scurtă durată. În timpul funcţionării ventilului de comandă, pistonul de acţionare se deplasează în sensul comandat (conectare sau deconectare) şi cu ajutorul unui sistem de pîrghii *72*, menţine ventilul respectiv în poziţia comandată. La terminarea manevrei, sistemul de pîrghii revine în poziţia iniţială şi eliberează ventilul.

Dispozitivul de acţionare pneumatic poate fi prevăzut cu un dispozitiv de blocare electromagnetic, care blochează ventilele de comandă.

Spre exemplificare se prezintă datele tehnice ale unui separator pantograf de 220 kV.

Tensiunea nominală	220 kV
Frecvenţa	50 Hz
Curentul nominal	2000 A
Curentul limită termic	
timp de 1 s	80 kA
timp de 4 s	40 kA
timp de 5 s	36 kA
Curentul limită dinamic	100 kA
Puterea de rupere trifazată la tensiunea nominală	570 kVA sarcini inductive şi capacitive
	1140 kVA sarcini rezistive.

4.2.5. Blocarea separatoarelor

Deoarece separatoarele nu sînt aparate de comutare, în mod normal, deschiderea sau închiderea lor, în cadrul unei instalaţii energetice, nu trebuie executată decît în cazul cînd separatoarele nu sînt parcurse de curent. Ca o excepţie, prescripţiile de exploatare tehnică pot să prevadă conectarea şi deconectarea în gol a transformatoarelor şi a liniilor de puteri şi lungimi mici.

Pentru a împiedica executarea unor manevre greşite în instalaţii, separatoarele sînt prevăzute, în mod obligatoriu, cu dispozitive de blocare, care permit acţionarea lor numai pentru anumite poziţii ale aparatelor de comutare din schema respectivă.

Blocarea separatoarelor constă în a împiedica acţionarea lor în cazul cînd anumite condiţii de funcţionare fără pericol nu sînt îndeplinite.

Blocarea separatoarelor prevăzute cu dispozitive de acţionare manuală se realizează prin blocarea mecanică a dispozitivului de acţionare.

Blocarea separatoarelor prevăzute cu dispozitive de acţionare de la distanţă se realizează prin deschiderea unor contacte din circuitele de comandă.

Dispozitivul de blocare este mecanismul care servește la împiedicarea unor acționări interzise. Dispozitivul de blocare se poate uni sau combina cu dispozitivul de acționare.

Dispozitivele de blocare folosite în instalațiile energetice se clasifică astfel:

1. dispozitive de blocare mecanică, care realizează blocarea pe cale pur mecanică;

2. dispozitive de blocare electromagnetică, care realizează blocarea prin intermediul unor electromagneți și al unor mecanisme de natură mecanică;

3. dispozitive de blocare electropneumatică, care realizează blocarea pe cale pneumatică, dar supapele sînt comandate prin electromagneți.

Dispozitivul de blocare mecanică cu acțiune directă are o construcție simplă și realizează blocarea printr-o legătură mecanică între dispozitivele de acționare al separatorului și al întreruptorului. Se aplică în cazul cînd cele două dispozitive de acționare sînt amplasate în aceeași celulă a instalației electrice sau în cazul separatoarelor cu cuțit de legare la pămînt la care acționarea cuțitelor active (de lucru) este legată mecanic de acționarea cuțitelor de legare la pămînt.

Dispozitivul de blocare mecanică cu broaște, cu chei mecanice (lacăte), realizează blocarea prin folosirea unor broaște mecanice care închid ca un lacăt dispozitivul de acționare al separatorului, în poziția închis sau deschis. Deschiderea acestui lacăt de blocare se face cu ajutorul unei chei speciale, numai cînd separatorul nu este parcurs de curent.

Broasca mecanică se montează pe ușa ce închide celula instalației energetice și anume în legătură mecanică directă cu dispozitivul de acționare al separatorului sau întreruptorului.

În figura 4.66 este arătat principiul blocării mecanice prin folosirea broaștelor mecanice cu cheie.

În cazul unei celule de plecare, prevăzută cu un separator de bare S_1, un întreruptor I și un separator de plecare S_2, se montează trei broaște:

— broasca *1* care blochează dispozitivul de acționare al întreruptorului I;

— broaștele *2* și *3* care blochează dispozitivele de acționare ale separatoarelor S_2 și S_1.

Cît timp întreruptorul I este anclanșat broasca *1* blochează un clichet al dispozitivului de acționare al întreruptorului și cheia nu poate fi scoasă din broasca *1*. În această situație, broaștele *2* și *3* rămîn închise, deci dispozitivele de acționare ale separatoarelor S_1 și S_2 sînt blocate.

Dacă întreruptorul I se află declanșat, cheia din broasca *1* se poate scoate și cu ea se pot deschide broaștele *2* și *3* și deci separatoarele pot fi acționate, respectiv deschise.

La conectarea liniei, operațiile se fac în ordine inversă; întîi se închid separatoarele S_1 și S_2 și se închid broaștele *2* și *3* cu aceeași cheie. Se introduce cheia în broasca *1* și apoi se poate anclanșa întreruptorul I.

Dispozitivul de blocare cu broască și cheie electromagnetică este mult răspîndit în instalațiile electrice de distribuție a energiei electrice.

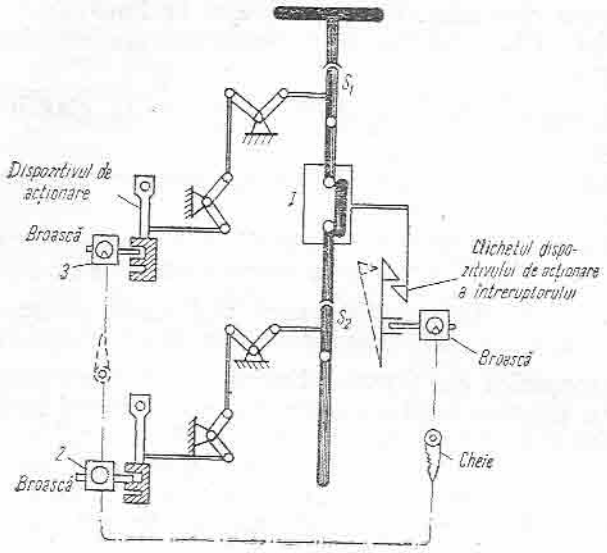


Fig. 4.66

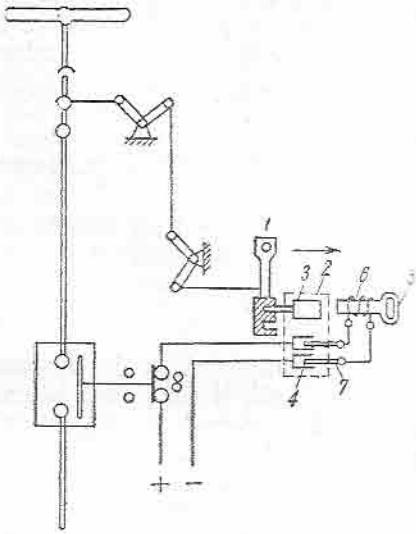


Fig. 4.67

Principiul de funcționare al acestui dispozitiv se poate vedea în figura 4.67.

Dispozitivul de blocare se compune din:

— broasca de blocare *2*;

— cheia electromagnetică portativă *5*.

Broasca este montată pe dispozitivul de acționare al separatorului, iar cheia portativă este aceeași pentru întreaga instalație de distribuție.

Broasca *2* conține un știft de blocare *3*, care realizează blocarea dispozitivului de acționare.

Priza de curent *4*, este introdusă în circuitul de blocare și comandă al întreruptorului, în serie cu contactele de blocare *8*. Contactele prizei *4* sînt sub tensiune numai cînd întreruptorul este în poziția declanșat. Cheia electromagnetică este prevăzută cu o înfășurare *6* ale cărei capete *7* au borne metalice.

Pentru deschiderea separatorului, se introduce cheia electromagnetică *5* în broasca *2*, astfel ca bornele *7* să intre în priza de contact *4*. Dacă întreruptorul este declanșat, contactul de blocare *8* este închis și înfășurarea *6* a cheii electromagnetice este parcursă de curent (curent continuu 110 sau 220 V.) În acest caz, știftul de blocare este atras spre corpul cheii și astfel dispozitivul de acționare al separatorului este deblocat; separatorul poate fi deschis cu ajutorul manetei *1*.

Dacă întreruptorul este anclanșat, circuitul bobinei *6* nu este străbătut de curent și știftul *3* continuă să blocheze dispozitivul de acționare al separatorului; în acest caz separatorul nu poate fi manevrat.

Pentru închiderea separatorului, dispozitivul de blocare funcționează similar ca mai sus, nepermițînd manevra de închidere decît în cazul cînd întreruptorul este în poziția declanșat.

În ultimul timp s-au realizat noi scheme de blocare operativă a separatoarelor cu ajutorul întreruptoarelor, folosindu-se elemente complexe prefa-

bricate, care înmănunchează sistemele de blocare cu sistemele de acționare ale aparatelor de conectare.

Aceste scheme au la bază unele condiții menite să excludă posibilitatea manevrării separatoarelor parcurse de curent.

În instalațiile electrice cu dublu sistem de bare colectoare, manevrarea unui separator de bare este permisă:

— dacă este deschis celălalt separator de bare și dacă este declanșat întreruptorul circuitului respectiv;

— dacă este închis celălalt separator de bare și dacă sînt anclanșate întreruptorul cuplei transversale și separatoarele respective.

Dacă un separator de bare are cuțitele de legare la pămînt pe partea întreruptorului, aceste cuțite nu trebuie închise dacă celălalt separator de bare este închis; nu se permite închiderea unui separator de bare dacă cuțitele de legare la pămînt ale separatorului-pereche sînt închise.

La instalațiile cu un singur sistem de bare colectoare, manevrarea separatoarelor de bare și de linie este interzisă dacă întreruptorul circuitului respectiv este anclanșat.

Ca exemplificare, în figura 4.68 este arătată schema blocării electromagnetice a separatoarelor unui circuit, în cadrul unei instalații de distribuție cu dublu sistem de bare colectoare.

Din schema circuitelor secundare de blocaj se vede că este posibilă o manevră în instalația de distribuție numai dacă sînt respectate condițiile stabilite mai sus; numai în acest caz bloc-contactele întreruptoarelor și separatoarelor asigură tensiunea la prizele de tensiune ale dispozitivelor de blocaj (notate cu *PB*)

Manevrarea separatoarelor de bare *1 S* și *2 S* este posibilă dacă cele două întreruptoare *I* și I_c sînt declanșate. Separatoarele *1 S* și *2 S* fiind deschise, prizele de blocare *1 PB* și *2 PB* primesc tensiunea și ca urmare, oricare din cele două separatoare poate fi închis. Odată închis unul din separatoarele *1 S* sau *2 S*, tensiunea de la priza de blocare a celuilalt este întreruptă deoarece este interzis, în acest caz, închiderea ambelor separatoare.

Între separatoarele de legare la pămînt *1 SP*, *3 SP*, *4 SP* și separatoarele de lucru *1 S*, *2 S*, *3 S* există un blocaj mecanic cu acțiune directă; de exemplu: *1 SP* poate fi închis numai dacă *1 S* este deschis și invers. De asemenea, *3 SP* și *4 SP* se pot închide numai dacă *3 S* este deschis.

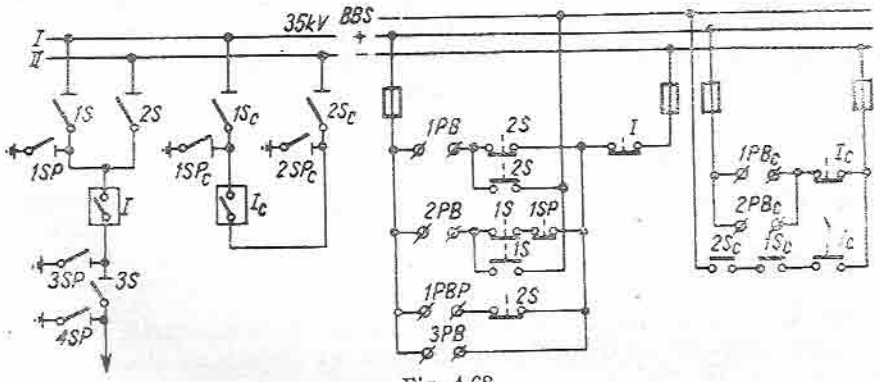


Fig. 4.68

În afară de acest blocaj mecanic se realizează și un blocaj electric. Astfel *1 SP* nu poate fi manevrat dacă *2 SP* este închis, după cum nici *2 SP* nu poate fi manevrat dacă *1 SP* e închis. De asemenea, *3 SP* e blocat atunci cînd întreruptorul *I* este închis.

În afară de aceasta, *1 S* (*2 S*) poate fi închis dacă separatorul pereche *2 S* (*1 S*) este închis numai cînd întreruptorul cuplei I_c și separatoarele *1* S_c și *2* S_c sînt închise. Astfel este eliminat pericolul apariției unui curent prin separatoare, în momentul executării manevrei și cele două sisteme de bare colectoare se pot conecta prin intermediul separatoarelor *1 S* și *2 S* (după ce în prealabil au fost conectate prin întreruptorul I_c).

Odată închise separatoarele *1 S* și *2 S*, prizele de blocare *1 PB* și *2 PB* primesc tensiune, ceea ce permite deschiderea oricăruia dintre cele două separatoare, fenomen care marchează în fapt trecerea circuitului primar de pe un sistem de bare colectoare pe celălalt sistem de bare colectoare.

Imediat, ca urmare, unul din separatoarele *1 S* și *2 S* fiind deschis, se întrerupe tensiunea la priza de blocare a separatorului pereche.

În mod analog se realizează și blocarea separatoarelor *1* S_c și *2* S_c ale cuplei transversale.

Cea mai sugestivă exemplificare a realizării schemelor operative de blocare a separatoarelor, legate de comanda întreruptoarelor, menite să înlăture deficiențele de montaj, este realizarea dispozitivelor de comandă pneumatică sau electropneumatică cu blocarea împotriva greșelilor de conectare.

Aceste dispozitive realizate pentru comanda întreruptoarelor și separatoarelor unei celule dintr-o instalație de distribuție, se aplică în cazul acelor instalații la care acționarea întreruptoarelor și separatoarelor se efectuează pneumatic. Dispozitivele se livrează în elemente preuzinate și asigură următoarele operații importante:

— transmiterea comenzilor la dispozitivele de acționare cu aer comprimat ale aparatelor de conectare;

— semnalizarea poziției aparatului de conectare;

— evitarea acționărilor greșite.

Comanda aparatelor de conectare se transmite electric printr-o instalație de curent alternativ sau curent continuu.

Blocajele realizate, pe cale mecanică sau electrică, de acest dispozitiv sînt:

— blocajele descrise anterior, împotriva greșelilor de conectare;

— blocajul de presiune minimă, care împiedică acționarea întreruptorului cînd presiunea aerului comprimat din instalație scade sub o valoare limită;

— blocarea anclanșării întreruptorului, dacă unul din separatoare este într-o poziție intermediară (avarie, deranjament).

4.2.6. Montarea și întreținerea separatoarelor

a. Separatoare de interior

Înainte de a începe montarea separatorului se fac următoarele verificări:

— starea izolatoarelor de porțelan (glazura nu trebuie să aibă zgîrieturi, iar armarea să fie rigidă);

— îmbinările tuturor pieselor să fie sigure;
— starea suportului sau a scheletului, care trebuie să îndeplinească următoarele condiții: separatorul să se poată fixa fără a se produce deformarea cadrului, să asigure poziția corespunzătoare de montaj a aparatului, să permită cuplarea fazelor între ele pentru aparate bi- sau tripolare și să permită fixarea dispozitivelor de acționare manuală sau a celor de acționare pneumatică care nu se livrează montate pe separatoare.

Succesiunea fazelor de montaj este următoarea:
— se ridică cu atenție aparatul la locul de montaj;
— se strîng provizoriu șuruburile de prindere a separatorului pe suport;
— se reglează separatorul conform indicațiilor date pentru fiecare grupă de separatoare;
— se cuplează separatorul cu dispozitivul de acționare corespunzător (cele care nu se livrează cuplate);
— se controlează strîngerea completă a îmbinărilor, șuruburilor de asigurare, conexiunilor etc.;
— se ung toate îmbinările unde se produc frecări la acționare;
— se execută 5—10 manevre ale separatorului din dispozitivul de acționare pentru verificarea funcționării, după ce s-a reglat aparatul conform indicațiilor;
— se verifică rezistența de izolație pentru bielele din steclotextolit sau pertinax care trebuie să aibă valori de ordinul 10^3MΩ.

Reguli de exploatare. Tensiunea de lucru a aparatelor trebuie să corespundă cu valoarea indicată în tabelele de caracteristici corespunzătoare fiecărui aparat.

Curentul nominal indicat pe etichetă nu poate fi depășit. Piesele supuse frecărilor se vor unge periodic. Examinarea periodică a separatoarelor este necesar să se facă cel puțin odată la 12 luni. Verificarea se face conform indicațiilor date. Aceasta se face cu aparatul scos de sub tensiune, respectînd regulile de tehnica securității muncii.

Dispozitivele de acționare manuală a separatoarelor vor trebui să fie asigurate împotriva deschiderilor nedorite prin lacăt sau alte dispozitive de blocaj. Separatoarele de interior se montează, în mod obișnuit, cu cadrul în poziția verticală; cele cu cuțite de legare la pămînt, se montează cu aceste cuțite în partea de jos. Separatoarele acționate manual cu dispozitivul AMI-(stîngă), se montează numai în poziția amintită mai sus; cele acționate cu alte dispozitive, care asigură blocarea separatorului în pozițiile extreme se pot monta și altfel.

Cuplarea separatoarelor cu dispozitivul de acționare manual este indicată în figura 4.52, iar cuplarea cu dispozitivul pneumatic — în figura 4.69.

După montare se fac următoarele verificări și reglări asupra separatorului:
— închiderea corectă a separatorului sub acțiunea dispozitivului său de acționare;
— existența unui contact etanș între cuțite și borna de contact — se verifică cu calibrul de interstiții de 0,05 mm;
— la separatoarele cu cuțite de legare la pămînt se verifică funcționarea corectă a penei de blocaj, care trebuie să asigure interblocarea între acționarea cuțitelor principale și cele de legare la pămînt (cînd sînt închise cuțitele principale să nu se poată închide cele de legare la pămînt și invers).

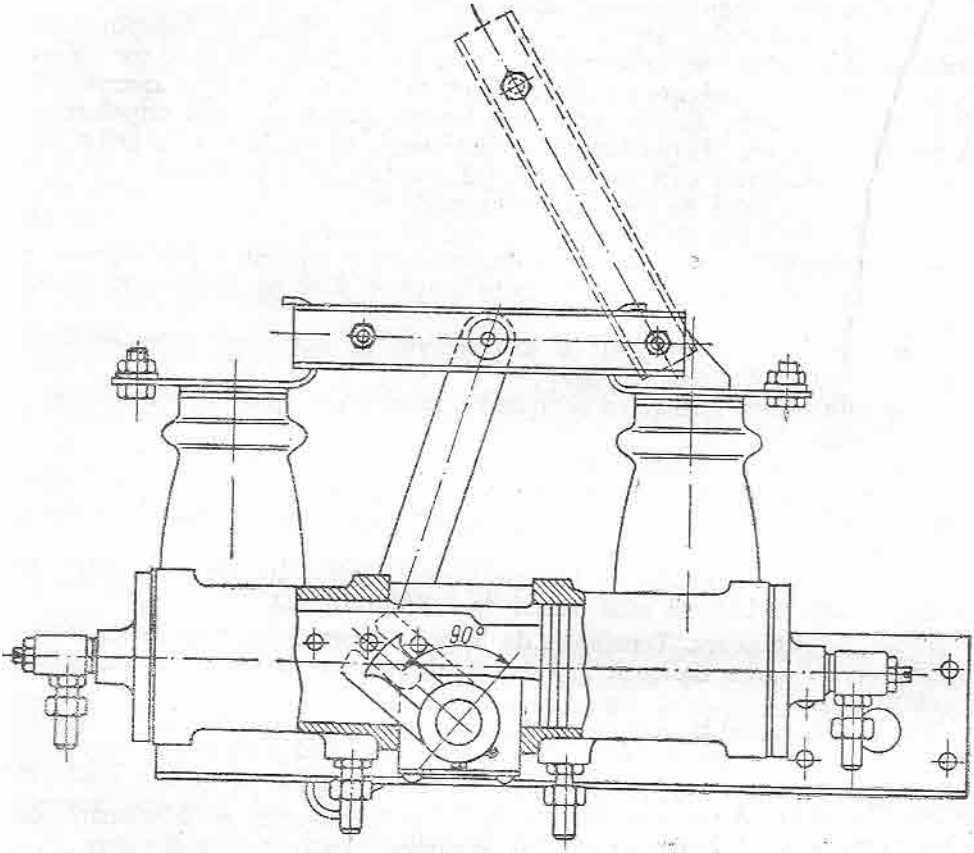


Fig. 4.69

b. Separatoare de exterior

Separatoarele de tip STE pentru 10—20 kV se execută numai în construcţie tripolară şi se acţionează numai manual cu dispozitivul AME—1

Separatorul tip STE—10—20 kV se montează numai în poziţie orizontală, în mod obişnuit pe stîlpi de lemn sau beton, prin intermediul unei traverse pod care se livrează împreună cu separatorul.

După montare se fac următoarele verificări şi reglări asupra separatorului:

— închiderea corectă a separatorului sub acţiunea dispozitivului său de acţionare;

— existenţa unui contact etanş între cuţite şi bornele de contact.

Separatoarele de exterior rotative pentru 35—400 kV se montează în exterior numai cu izolatoarele suport în poziţie verticală (cînd se montează în clădiri, separatoarele de 35 şi 110 kV se pot monta şi cu izolatoarele suport în poziţie orizontală). Efortul de tracţiune admis la bornele aparatelor, în cazul montajului cu izolatoarele în poziţie verticală este de 100 kg pentru separatoarele de 35 şi 110 kV şi 150 kg pentru cele de 220 kV.

Toate separatoarele se construiesc numai în execuţie monopolară, montajul bi sau tripolar pentru separatoarele de 35 şi 110 kV realizîndu-se în staţii de către beneficiari. Pentru aceasta se livrează tije de legătură între faze, precum şi tije de legătură între axele cuţitelor de legare la pămînt, numai pentru montarea fazelor alăturat; pentru montarea fazelor una în spatele celeilalte (în linie) nu se livrează în mod obişnuit tije de legătură mecanică între faze. În cazul montării una în spatele celeilalte a fazelor prevăzute cu cuţite de legare la pămînt, nu se pot cupla mecanic între ele axele acestor cuţite. Deci nu se poate folosi în această situaţie, un singur dispozitiv pentru acţionarea cuţitelor de legare la pămînt ale celor trei faze; atît pentru acţionarea manuală cît şi cea pneumatică este necesar cîte un dispozitiv pentru acţionarea cuţitelor de legare la pămînt ale fiecărei faze.

Separatoarele monopolare de 220 kV, în mod obişnuit, nu se cuplează mecanic între ele, pentru a realiza un montaj bi sau tripolar, fiecare fază trebuie să fie prevăzută cu dispozitiv de acţionare pneumatică, iar cele trei dispozitive să fie comandate de la o singură cutie.

Se va acorda o atenţie deosebită pentru montarea şi reglarea separatoarelor de 220 kV care se livrează cu izolatoarele superioare demontate. În acest caz, succesiunea fazelor de montaj este următoarea:

— se fixează pe suport cadrul, care are montate pe el izolatoarele inferioare;

— se montează cele două izolatoare superioare pe flanşele izolatoarelor inferioare, ţinînd seamă de etichetele care indică poziţia de montaj.

Verificarea şi reglarea închiderii şi deschiderii separatoarelor de tip rotativ, în cazul cînd a intervenit demontarea sau dereglarea aparatului după expedierea din fabrică, se face în felul următor, urmărind figura 4.60:

— se demontează tijele de legătură *1* şi *4* dintre coloanele de izolatoare şi dintre dispozitivul de acţionare;

— se aduce în poziţia închis separatorul (cele două semicuţite) prin rotirea manuală a celor două coloane de izolatoare;

— se aduce dispozitivul de acţionare în poziţia închis corespunzător separatorului (dacă dispozitivul este pneumatic se aduce cu aer comprimat);

— se reglează lungimea tijelor de legătură, în aşa fel încît să se poată monta la locul lor fără a schimba poziţia coloanelor de izolatoare, sau a dispozitivului de acţionare;

— se deschide separatorul, după ce s-au montat la loc tijele de legătură;

— se închide uşor cu mîna separatorul, urmărind atingerea între ele a celor două semicuţite, contactul cilindric de pe semicuţitul *5* trebuie să pătrundă între lamelele semicuţitului *6* cu uşurinţă, fără să forţeze una din perechile de lamele, sau să le îndoaie. În cazul că este forţată una din perechile de lamele, de către contactul cilindric, se va regla cu atenţie lungimea tijelor de legătură între coloanele de izolatoare, avînd cele două semicuţite apropiate, urmărind să se aşeze într-o poziţie corectă de cuplare între ele.

În cazul acţionării pneumatice a acestor separatoare, se reglează cu atenţie debitul de aer ce intră în dispozitiv, prin intermediul şuruburilor din capetele cilindrilor prevăzute în acest scop, pentru a realiza o închidere şi deschidere a separatorului fără şocuri puternice, care ar duce la ruperea izolatoarelor sau la alte defecţiuni. Înainte de punerea în funcţiune:

— se verifică cursa în contacte, care trebuie să fie la separatoarele de 35 și 110 kV de minimum 25 mm, iar la cele de 220 kV — minimum 40 mm;
— se verifică dacă contactul între cele două semicuțite se face pe toată lățimea lamelor de contact;
— se verifică blocarea, prin intermediul dispozitivelor, a separatorului în pozițiile extreme, cît și interblocajul între cuțitele de legare la pămînt și cele principale.

4.3. Separatoare de sarcină

4.3.1. Generalități

Creșterea continuă a numărului stațiilor și posturilor de transformare în rețelele de transport și distribuție, implică cheltuirea unor sume din ce în ce mai importante pentru aparatele de comutare folosite în aceste instalații. Această situație a determinat o cercetare atentă a posibilităților de reducere a acestor cheltuieli, menținîndu-se evident un grad ridicat de siguranță în funcționare și evitîndu-se pe cît posibil orice alte dezavantaje din punct de vedere tehnic.

Analiza posibilităților de adoptare a unor soluții mai avantajoase din punct de vedere economic a pornit de la constatarea că întreruptoarele de medie și înaltă tensiune folosite în instalațiile din rețelele de transport și distribuție sînt utilizate îndeosebi pentru efectuarea unor comutări la sarcină nominală sau chiar la valori mai scăzute (ca de exemplu pentru conectarea sau deconectarea sub sarcină a transformatoarelor sau liniilor de transport sau distribuție), în timp ce comutările care supun aparatul unor solicitări deosebit de dure sînt relativ rare.

Pentru a asigura însă siguranța funcționării instalațiilor pe care le protejează, întreruptorul trebuie astfel dimensionat încît să poată acționa cu promptitudine și corect la cele mai grele situații de avarii ce pot apare în punctul de conexiune în care este montat.

Acest fel de dimensionare constructivă a aparatelor de comutare sub sarcină conduce evident la costuri importante.

Pentru a reduce costul acestor aparate de comutație s-a trecut la folosirea separatoarelor de sarcină pentru care s-au putut adopta soluții constructive mult simplificate față de întreruptoare datorită solicitărilor incomparabil mai reduse cărora trebuie să le facă față. Datorită dimensiunilor lor relativ mici, comparabile cu acelea ale unui separator, aceste aparate formează o categorie intermediară între întreruptoare și separatoare, apropiindu-se mai mult de acestea din urmă. Ordinul de mărime al capacității de rupere al acestor aparate este, de obicei, de 26—30 MVA; asemenea puteri de scurtcircuit sînt, de regulă, depășite de cele ce apar în rețelele de distribuție. Dacă un astfel de separator de sarcină, este utilizat pentru comutarea curenților de sarcină, iar protecția instalației este asigurată prin siguranțe fuzibile montate în serie cu acesta, atunci capacitatea lui de rupere nu este folosită, el fiind utilizat numai pentru comutarea unor curenți mult mai mici, evident apropiați de valoarea curentului său nominal.

Folosirea separatorului de putere pentru întreruperea curenților de sarcină (protecția elementelor de rețea se realizează prin siguranțe fuzibile) se justifică numai în cazul în care în punctul unde este montat acest aparat se fac numeroase comutări.

Pornind de la considerațiile de mai sus s-a apreciat ca indicată realizarea unui aparat capabil să întrerupă numai curenții de sarcină ai elementelor circuitului din care face parte și care, în general, nu pot depăși curentul său nominal; acesta este separatorul de sarcină. Separatorul de sarcină are ca element de bază separatorul propriu-zis căruia i s-a adaptat un dispozitiv cît se poate de simplu pentru stingerea arcului electric.

Dintre toate solicitările arătate, separatorul de sarcină nu este în măsură să întrerupă curentul de scurtcircuit. Această situație creează separatorului de sarcină o gamă largă de utilizări dacă se admite ca întreruperea curentului de scurtcircuit să fie preluată de siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu mare putere de rupere.

4.3.2. Principiul de funcționare și principalele tipuri constructive

Elementul principal al separatorului de sarcină este dispozitivul de întreruperea curentului. Jetul de gaz folosit pentru stingerea arcului este produs chiar în interiorul dispozitivului de stingere executat din material gazogen solid, iar arcul electric este acela care provoacă generarea de gaz. Camerele de acest tip au forma plată sau cilindrică.

În figura 4.70 se prezintă un separator cu cameră de stingere plată. După cum se observă, cuțitului dublu *1* al separatorului i s-a adăugat un cuțit de rupere *2* cuplat cu ajutorul resortului *5* de acesta (fig. 4.70, *e*). În figurile 4.70, *a*, *b*, *c*, *d* se pot urmări etapele de funcționare ale separatorului.

În poziția anclanșată curentul trece prin cuțitul principal al separatorului *1*. Cuțitul de rupere *2* nu este în legătură electrică cu bulonul *3* care îi corespunde (fig. 4.70, *a*). La deconectare, cuțitul de rupere este antrenat de cuțitul separatorului prin intermediul resortului *5* pînă în punctul în care este oprit de bulonul *3*. (fig. 4.70, *b*). Cînd cuțitul principal al separatorului părăsește calea de curent, aceasta rămîne închisă cuprinzînd traseul elementelor *2* și *3*, adică curentul circulă prin cuțitul de rupere. Resortul care leagă cuțitul de rupere de cuțitul principal al separatorului este întins în timpul mișcării acestuia din urmă. Datorită faptului că punctul de rotație al cuțitului de rupere nu coincide cu punctul de rotație al cuțitului principal al separatorului, în timpul mișcării acestuia din urmă, primul execută o mișcare de translație care permite ca, la un anumit unghi de deschidere a separatorului, cuțitul de rupere să fie eliberat de bulonul *3* (fig. 4.70, *c*). În această situație cuțitul de rupere se deschide brusc, fiind acționat de resort și este fixat de un opritor (fig. 4.70, *d*).

În camera de stingere plată arcul electric apare între contactul fix *3* și contactul mobil *2*, realizat, de obicei, sub forma unui cuțit de rupere. Degajarea de căldură provocată de arcul electric ce apare la întreruperea curentului încălzește pereții *4* care generează gaze sub acțiunea căldurii.

Jetul de gaz dezvoltat în urma acțiunii arcului absoarbe o parte din căldura acestuia, diminuîndu-i deci conținutul de energie termică, deionizîndu-l astfel. Prin direcția sa jetul de gaz împreună cu forțele electrodinamice duc la întinderea arcului care capătă astfel forma de buclă. Lungirea arcului datorită schimbării formei sale duce pe de altă parte la mărirea cantității de gaz degajate, ceea ce are ca efect creșterea presiunii în camera de stingere care prezintă un volum mărginit din două părți de pereții rezistenți și dintr-o parte de cuțitul separatorului.

Distanța dintre pereții camerei de stingere trebuie aleasă astfel încît capacitatea gazogenă a arcului să asigure o dezvoltare suficientă de gaz pentru întreruperea arcului în cazul curenților mici. Deoarece arcul electric baleiază în timpul procesului de stingere o mare parte din suprafața camerei de stingere, uzura acesteia (prin ardere) este relativ redusă, ceea ce are ca urmare menținerea practic constantă a distanței dintre pereți.

Datorită cantităților mici de material care se consumă la fiecare acționare sub sarcină, numărul de acționări ale unui separator prevăzut cu o cameră de stingere plată este limitat numai de uzura cuțitului de rupere. Pentru ușurarea exploatării se practică în cuțitul de rupere o gaură specială care servește drept indicator al gradului de uzură. Cînd materialul cuțitului de rupere se reduce pînă la gaură, aceasta servind drept marcă, exploatarea trebuie să treacă la înlocuirea acestuia.

Pentru o funcționare corectă a separatoarelor de sarcină este neapărat necesar ca cuțitul de rupere să ajungă în poziția sa finală. Acest lucru se realizează evident în cazul unor dispozitive de acționare cu aer comprimat sau resorturi, dar nu se poate asigura cu certitudine în cazul acționării printr-un operator.

În cazul unei camere de stingere cilindrice (fig. 4.71, *a*) contactul de durată se stabilește între piesa fixă *1* și piesa mobilă *2*, care se fixează

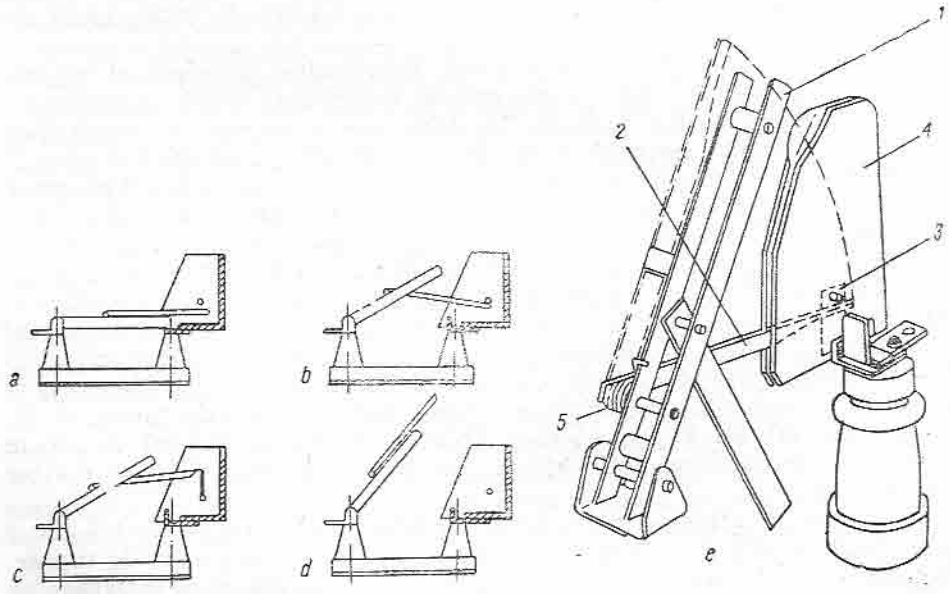


Fig. 4.70

drin intermediul unui conductor *6* la extremitatea cuțitului mobil al separatorului. Tot cu cuțitul separatorului mai este solidară și tija *5* cu un vîrf de prindere. În țeava izolantă *3* se află fălcile de stingere *4* care sînt prevăzute la partea inferioară cu legături elastice pentru formarea tulipei de prindere *7* și a contactelor de arc *11*. La deschidere tija *5* antrenează tulipa *7* comprimînd resortul *8* cu pistonul *9*, solidar cu *7*. Camera de stingere este plasată în capătul izolatorului *10*.

La o forță dată, capul tijei *3* scapă din tulipa *7*, obținîndu-se o viteză mare între tija *3* și tulipa *7*:

$$v_r = v_{t3} + v_{t7},$$

unde: v_{t3} este viteza de deplasare a tijei *3*;

v_{t7} — viteza de revenire a tulipei *7* în poziția inițială.

În figura 4.71, *b* se reprezintă tocmai revenirea tulipei în poziție inițială prin acțiunea resortului *8*, care acum se destinde.

Arcul apare între piesa *11* și vîrful tijei *5* într-o încăpere practic total închisă, inițial de volum foarte redus; în acest fel, gazul degajat de către fălcile *4* odată cu formarea arcului se găsește sub o puternică presiune și jetul produs provoacă stingerea arcului încă înainte ca tija *5* să părăsească camera de stingere.

În această construcție se contează deci pe formarea unui arc electric de lungime mare, dar totuși mai redusă decît în cazul camerei plate. Această caracteristică a camerei de stingere cilindrice permite utilizarea unui contact mobil de lungime mai redusă, ceea ce are ca efect posibilitatea realizării unei soluții constructive și cinematice mult mai simple. Suprafața redusă asupra căreia se exercită acțiunea gazogenă a arcului electric format între cele două contacte ar avea ca urmare, în cazul unui volum rigid al camerei de stingere, o mărire apreciabilă a diametrului ei interior după fiecare declanșare. O cameră de stingere cilindrică secționată longitudinal avînd părțile componente presate pe contactul mobil prin resorturi, permite revenirea la dimensiunea normală chiar dacă diametrul interior variază în urma comutărilor efectuate.

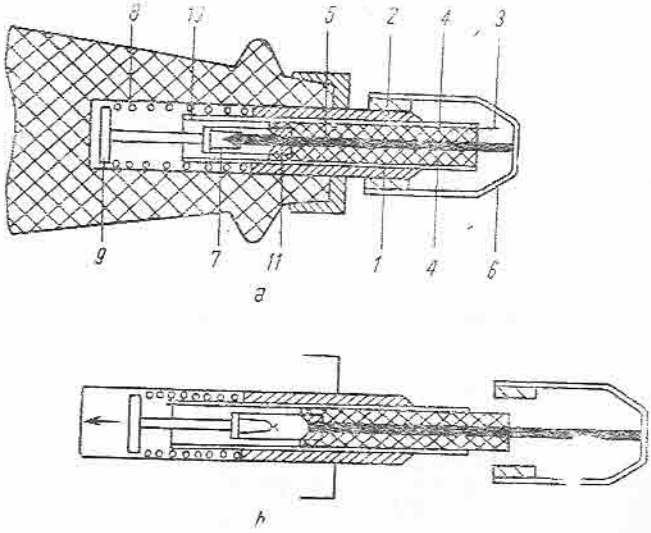


Fig. 4.71

În ambele soluții se montează în paralel cu cuțitele principale ale separatoarelor cîte un cuțit de rupere; acesta preia curentul după deschiderea separatorului și se deschide la rîndul său cu mare viteză și după o anumită temporizare. În acest fel, cuțitul de rupere este singurul element

mobil care acționează efectiv la întreruperea curentului și este afectat de un oarecare grad de uzură.

Forma și dimensiunile camerei de stingere cilindrice au determinat soluția montării ei în interiorul izolatorului de susținere. Această soluție nu se mai deosebește cu nimic de separatorul obișnuit și necesită un spațiu practic egal cu acesta. Trebuie de precizat totuși că separatoarele de sarcină impun crearea unui spațiu de securitate față de instalațiile înconjurătoare, ținînd seama de degajările de gaz produse de ele la întreruperea curentului de sarcină.

Există evident și soluții ce vor fi descrise în continuare în care se renunță la un cuțit de rupere separat, folosindu-se în schimb un contact auxiliar montat chiar pe cuțitul principal al separatorului. Deoarece, în mod obișnuit, cuțitul separatorului se mișcă cu o viteză relativ lentă (în funcție de viteza pe care i-o imprimă operatorul sau de posibilitățile dispozitivului de acționare), este necesar ca în cazul utilizării unui contact de rupere fixat pe cuțitul principal să se găsească o altă soluție pentru imprimarea unei viteze corespunzătoare părții mobile. Soluția la care s-a ajuns este următoarea: contactul fix împreună cu camera de stingere cilindrică se fixează în interiorul izolatorului suport al separatorului în așa fel, încît să prezinte un anumit grad de mobilitate care să-i permită să fie antrenat de către un vîrf de prindere al contactului de rupere. Mișcarea camerei de stingere antrenată de contactul de rupere se face pînă la un punct în care un clichet provoacă desfacerea acestei îmbinări; deoarece în timpul mișcării camerei cilindrice a fost armat un resort puternic, acesta provoacă o revenire bruscă a camerei odată cu desfacerea legăturii dintre ea și vîrful de prindere.

Materialele gazogene în construcția camerelor de stingere sînt: fibra roșie, rășina ureoformaldehidică, sticla organică (rășina polimetilmetanil). Dintre acestea, sticla organică are cea mai mare capacitate de a produce gaze prin descompunerea cauzată de arcul electric. După Kukekov compoziția gazelor rezultate din descompunerea materialelor gazogene este dată în tabelul 4.12.

Pentru camera de stingere tubulară se pot da indicații de calcul. Astfel se constată experimental că pentru a realiza o stingere este necesar să existe în cameră o presiune de cel puțin 2 ata.

Tabelul 4.12

Compoziția gazelor de descompunere în [%]

	Fibra roșie	Sticla organică
CO_2	5,29	5,07
CO	51,34	47,71
H_2O	35,24	22,78
H_2	8,13	20,04

Presiunea de ardere a arcului se poate determina dacă se cunoaşte:

$\delta \left[\frac{daN}{kWs}\right]$ — cantitatea de gaz (gravimetrică) produsă de energia arcului de 1 kWs;

W_a — energia arcului în intervalul 0, t;

V_m — volumul cel mai mare posibil al camerei de stingere înainte de destinderea gazelor.

Presiunea în camera de stingere rezultă din relaţia:

$$p_1 V_m = MRT = \delta W_a RT$$

sau

$$p_1 = \frac{\delta W_a RT}{V_m}.$$

Mărimea δ se determină experimental, ca fiind pierderea de greutate a camerei de stingere, pentru fiecare material şi fiecare formă a camerei de stingere. Astfel, pentru un canal rotund de fibră se ajunge la:

$$\delta = 0{,}35 \cdot 10^{-4} \text{ daN/kWs}.$$

Pentru calcule preliminare se mai poate considera:

$W_a = \int_0^t E_a \, vi dt$, unde gradientul arcului electric E_a se poate lua 150 V/cm;

$$T = 1000 - 1500\,°\text{K}.$$

Camera de stingere plată nu se poate calcula, dar pentru exemplarele reuşite se ştie că viteza electrodului port-arc este de ordinul 1...3 m/s, iar fanta de ordinul 5 mm.

4.3.3. Separatoare de sarcină de construcţie românească

La noi în ţară, uzinele Electroputere fabrică separatoare de sarcină în două tipuri constructive: SPTI şi STIS (S — separator; P — de putere, T — tripolar, I — de interior; S — de sarcină). Deosebirea între cele două tipuri de separatoare constă în faptul că separatoarele de sarcină STIS asigură stingerea arcului electric datorită presiunii gazelor degajate de materialul camerelor de stingere sub acţiunea arcului electric, în timp ce la separatorul de tip SPTI-arcul electric este stins de aerul dirijat spre locul de deschidere al contactelor de către un cilindru de autocompresie.

Separatoarele de sarcină tip STIS se construiesc pentru interior pentru 10 şi 20 kV. Sînt separatoare de sarcină cu camere de stingere plate şi se construiesc în două variante principale:

— cu protecţie împotriva curenţilor de scurtcircuit, protecţie ce se realizează prin siguranţe fuzibile, tip STISp sau STISF (p — cu protecţie; F — cu siguranţe incluse);

— fără protecţie tip STIS.

Acționarea acestor tipuri de separatoare se poate face.

— cu dispozitiv tip AMI—10, în care caz închiderea separatorului este lentă și depinde de operator, iar deschiderea este rapidă și independentă;

— cu dispozitiv AC—1,2 cu resorturi, în care caz atît închiderea cît și deschiderea sînt rapide, independente de operator.

Separatoarele tip STIS se execută numai în construcție tripolară avînd ca bază separatorul obișnuit la care se adaugă părțile aferente separatorului de sarcină.

În figura 4.72 este prezentat un separator de sarcină tip STIS cuplat cu mecanismul de acționare, *9*, tip AC—1. Prin rotirea sa, axul separatorului *1* antrenează cuțitele principale *2* prin intermediul manivelelor și a bielelor *3*, închizînd aparatul. La deschidere, se desprind mai întîi cuțitele principale și numai după ce acestea au parcurs 70—80% din cursa lor, se desprind și cuțitele de rupere *4* de contactele de rupere *7*, între care se amorsează arcul electric. Cuțitul de rupere se mișcă prin camera de stingere *5* cu viteză de 8—10 m/s sub acțiunea unui resort *6* care a fost tensionat în timpul cînd s-au deschis cuțitele principale. Cînd cuțitul de rupere a ajuns în dreptul cuțitului principal, cele două cuțite se mișcă împreună în continuare pînă la deschiderea completă a separatorului.

Arcul electric, la deschiderea sub sarcină, trebuie să se amorseze numai între contactele de rupere și trebuie să fie rupt pînă cînd cuțitul de rupere nu a ieșit încă din camera de stingere. Arcul electric amorsat între contactele principale nu mai poate fi rupt, deoarece este în afara camerei de stingere.

Pozițiile separatoarelor sînt semnalizate de comutatorul semnalizator *8*, tip CSA—4.

În figura 4.73 sînt date dimensiunile de gabarit ale separatorului STIS fără protecție. Separatoarele de sarcină cu siguranțe fuzibile au montat înspre partea cuțitului mobil un cadru pe care se montează siguranțele fuzibile.

Separatoarele de tip STIS se pot monta în orice poziție; se recomandă însă montajul cu izolatoarele în poziție orizontală. După cuplarea separatorului cu dispozitivul manual de acționare se va verifica dacă efectuînd cele patru manevre ale manivelei de acționare se produc în ordine:

— la prima manevră — armarea resorturilor însă fără schimbarea poziției separatorului;

— la a doua manevră — închiderea separatorului;

— la a treia manevră — deschiderea separatorului;

— la a patra manevră — rearmarea broaștei.

Dacă închiderea separatorului nu se face corect (cuțitul de rupere nu pătrunde între contactele de rupere), la deschiderea sub sarcină, cuțitul de rupere va începe să se deschidă odată cu cel principal, nefiind reținut de contactele de rupere. În acest caz arcul electric se va amorsa și între cuțitul principal și contactul respectiv (în afara camerei de stingere). Arcul electric care este în afara camerei de stingere nu va fi rupt și deci separatorul nu va funcționa normal.

Este necesar deci ca la închidere, să se verifice dacă se închid corect, atît cuțitele principale cît și cele de rupere, care trebuie să treacă sub pastilele contactului de rupere și să nu rămînă deasupra sau între ele.

La reglarea aparatului se va da o atenție deosebită reglării cuțitului de rupere, care trebuie să se miște cu ușurință în camera de stingere (fără

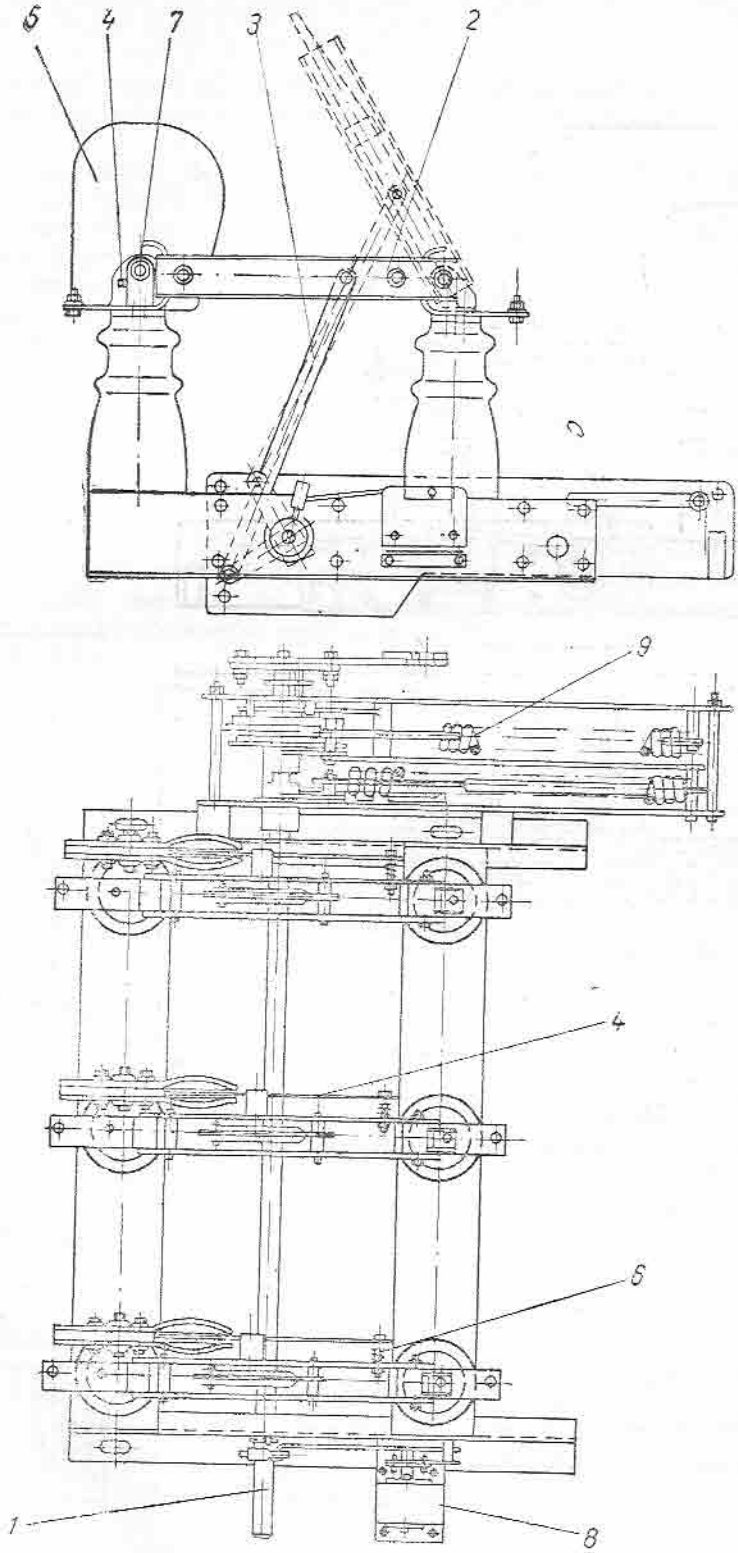
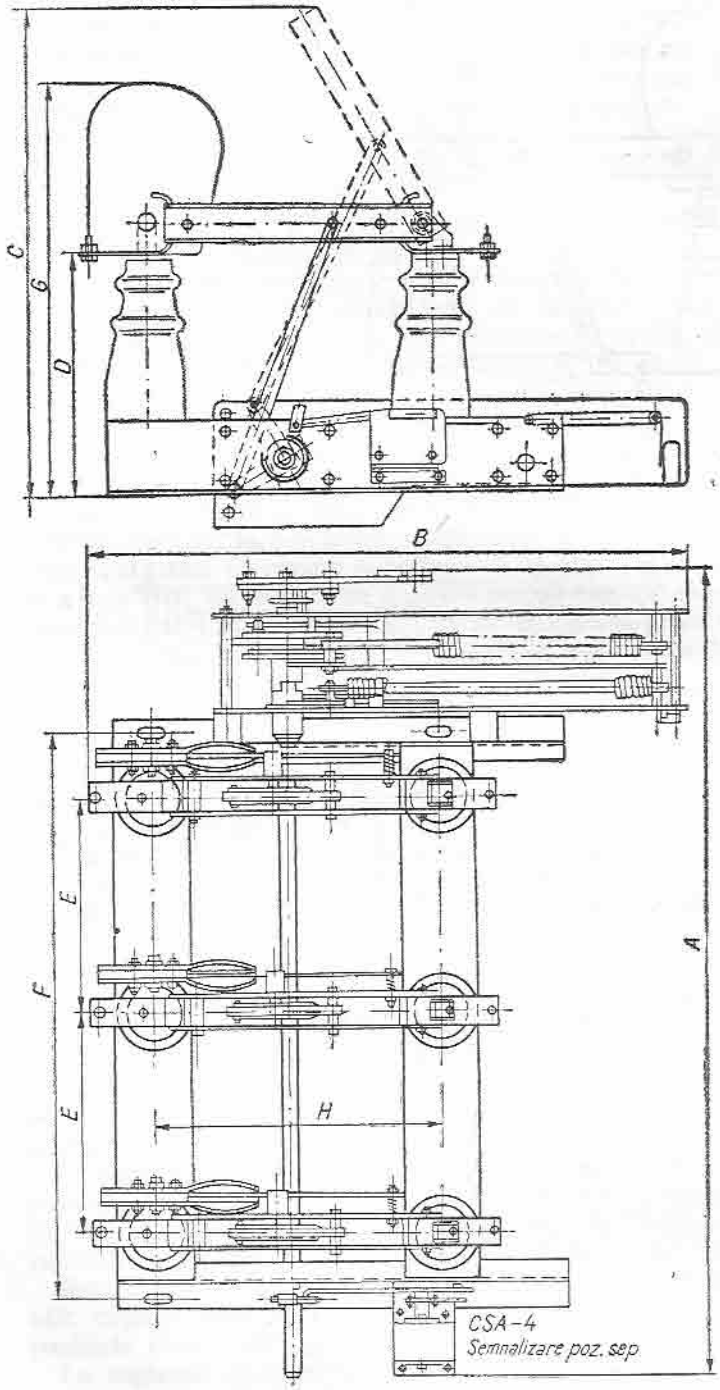


Fig. 4.72



Denumirea Produsului	Dimensiuni în mm								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
STIS 10kv/400A	1045	660	440	220	250	682	470	255	
STIS 20kv/200A	1145	695	570	300	300	782	550	325	

Fig. 4.73

frecări) pentru a nu duce la reducerea vitezei de deschidere a cuțitului de rupere și deci la reducerea sau înrăutățirea condițiilor de rupere ale aparatului.

Camerele de stingere sînt garantate pentru un număr minim de 200 deconectări; după fiecare 30 de deconectări se demontează camerele și se îndepărtează urmele de carbonizări. Curățirea se face cu orice metodă eficientă, care nu lasă în pereții camerei urme metalice (curățirea cu sticlă sau hîrtie sticlată) și nu se recomandă curățirea cu șmirghel.

Numărul manevrelor sub sarcină cu ajutorul separatoarelor STIS este de cel mult 5 pe zi, folosind aparatul la întreaga capacitate de rupere. În cazul folosirii la sarcini reduse, numărul manevrelor se poate mări pînă la 15. Timpul între două deschideri succesive sub întreaga sarcină nu va fi mai mic de 3 minute.

După un anumit număr de conectări și deconectări (20—30) sub sarcină nominală se va verifica starea contactelor și a camerelor de stingere.

După ce s-a realizat o conectare a aparatului la un curent cu valoare mult mai mare decît cea indicată în tabelul de caracteristici tehnice (tabelul 4.13) se va face neapărat revizia contactelor aparatului și se vor înlocui (dacă este cazul) piesele uzate.

Reviziile generale ale acestor separatoare se vor efectua la cel mult 3 ani, iar reviziile la un an.

Tabelul 4.13

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor de sarcină STIS

Tipul	Curentul nominal [A]	Puterea de rupere la cos φ = 0,7 [MVA]	Valoarea efectivă a curentului de închidere pe scurtcircuit [kA]	Valoarea efectivă a curentului limită termic la 1 s [kA]	Valoarea de vîrf a curentului limită dinamic [kA]
STIS 10/400	400	7	10	10	25
STIA 20/200	200	7	10	10	25

Separatoarele de tip SPTI denumite separatoare de putere cu autocompresie se execută numai în construcție tripolară pentru tensiuni de 10 și 20 kV.

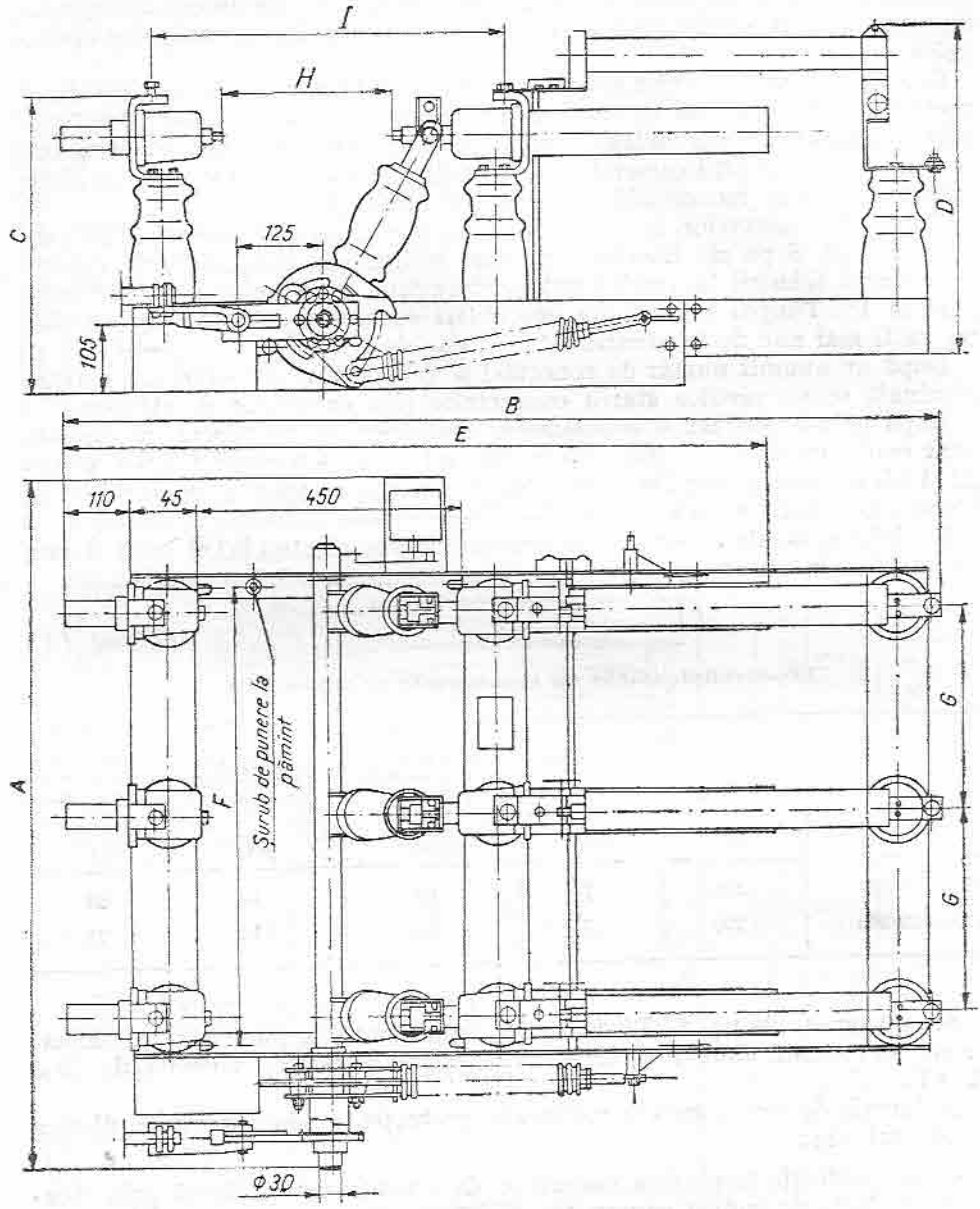
În funcție de modul cum se realizează protecția la scurtcircuit se disting două variante:

— cu protecție împotriva curenților de scurtcircuit realizată prin siguranțe fuzibile pe cadrul comun tip SPTIp;

— fără protecție tip SPTI.

În figura 4.74 este prezentat tipul SPTIp cu dimensiunile de gabarit. Tipul SPTI este asemenător însă îi lipsește cadrul cu siguranțele fuzibile.

Acționarea se poate face cu dispozitiv AM—7 sau AP—4, în ambele cazuri, atît deschiderea cît și închiderea fiind rapide și independente de operator.



Tipul separatorului	Dimensiuni în mm									Greut. în Kg fără disp. AMET
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
SPTIp-10	925	1210 1255	384	480	938	554 +0,5	250	180	500	75
SPTIp-20	1035	1343 1390	475	558	1152	664 +0,5	300	260	560	87

Fig. 4.74

Numărul manevrelor sub sarcină cu ajutorul separatoarelor SPTI etse de cel mult 5 pe zi, folosind aparatul la întreaga sa capacitate de rupere. În cazul folosirii la sarcini reduse numărul manevrelor se poate mări pînă la 15. Timpul între două deschideri succesive sub întreaga sarcină să nu fie mai mic de 3 minute. După un anumit număr de conectări și deconectări (20—30) sub sarcina nominală, se va verifica starea contactelor, precum și starea bușoanelor de suflaj care se vor remedia sau înlocui dacă sînt uzate prea mult.

Separatorul nu permite deschiderea pe scurtcircuit, el neputînd să rupă puteri mai mari decît cele indicate. După ce s-a realizat o conectare a aparatului la curenți de valori mai mari decît curentul nominal de lungă durată a aparatului (cuprinse între 2 și 20 kA_{max}) se va realiza neapărat revizia contactelor aparatului și se vor înlocui (dacă este cazul).

Capitolul V

APARATE DE PROTECȚIE

5.1. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune

5.1.1. Considerații generale

Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune sînt aparate destinate pentru protecția instalațiilor electrice împotriva scurtcircuitelor și a suprasarcinilor inadmisibile. Astfel, siguranțele fuzibile se pot folosi în următoarele cazuri:

— la protecția împotriva scurtcircuitelor a transformatoarelor de puteri pînă la 1000—1600 kVA, la tensiuni pînă la 35 kV inclusiv — valori valabile pentru țara noastră;

— la protecția transformatoarelor de tensiune, în general, pînă la tensiuni de 35 kV inclusiv;

— la protecția împotriva scurtcircuitelor a motoarelor de înaltă tensiune; comutarea curentă și protecția împotriva suprasarcinilor se realizează, în acest caz, cu ajutorul unor contactoare de înaltă tensiune;

— la protecția bateriilor de condensatoare împotriva scurtcircuitelor interne;

— la protecția circuitelor de alimentare pînă la tensiuni de 35 kV inclusiv; siguranțele se montează, în acest caz, la capătul amonte al circuitului, iar la capătul aval se montează un aparat de comutare și protecție corespunzător.

Folosirea siguranțelor fuzibile moderne în sistemele electrice limitează valoarea curenților de scurtcircuit și permite folosirea unor echipamente electrice avînd o construcție mai simplă și mai ieftină, datorită limitării efectelor termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

Siguranțele fuzibile permit instalarea unor cabluri și bare de secțiune mai redusă corespunzînd curenților nominali din circuit, fără ca să fie nevoie să se utilizeze secțiuni mult mai mari pentru a se asigura stabilitatea termică în caz de scurtcircuit. Siguranțele fuzibile montate împreună cu separatoare de putere sau de sarcină înlocuiesc întreruptoarele în unele cazuri, fără ca acest lucru să influențeze negativ, din punct de vedere tehnic, funcționarea sistemului. În acest caz, separatoarele servesc la efectuarea manevrelor în regim normal de funcționare, iar siguranțele îndeplinesc rolul de întreruptor automat realizînd protecția circuitului respectiv în caz de scurtcircuit.

Principalii parametri electrici pe baza cărora se face și alegerea siguranțelor fuzibile sînt indicați în cele ce urmează.

Tensiunea nominală — trebuie să corespundă în principiu tensiunii instalației pentru a se evita supratensiunile mărite ce apar în procesul de întrerupere și care pot periclita izolația echipamentelor protejate.

Curentul nominal al fuzibilului — se alege cea mai mică valoare standardizată, astfel încît fuzibilul să suporte un timp nelimitat curentul nominal al circuitului, să suporte un anumit timp curentul de suprasarcină al circuitului, să suporte şocurile de curent de foarte scurtă durată care apar în regimul normal de funcţionare şi să asigure selectivitatea.

Şocuri de curent de scurtă durată apar la punerea sub tensiune a transformatoarelor de putere, a motoarelor şi a bateriilor de condensatoare. Pentru transformatoarele tipizate cu puteri nominale pînă la 1000 kVA, curenţii nominali ai fuzibilelor pe partea de înaltă tensiune sînt daţi în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Valorile curenţilor nominali ai fuzibilelor pentru transformatoare de putere

Puterea nominală a transformatorului [kVA]	Curentul nominal al fuzibilului [A]				
	6 kV	10 kV	15 kV	20 kV	35 kV
25	10	6,3	6,3	6,3	6,3
40	10	6,3	6,3	6,3	6,3
63	16	10	10	6,3	6,3
100	25	16	16	10	16,3
160	40	25	16	16	10
250	63	31,5	25	25	16
400	80	40	40	31,5	25
630	100	63	63	40	31,5
1000	150	80	80	63	40

În cazul motoarelor electrice, valoarea maximă a curentului de pornire depinde de tipul motorului şi al dispozitivului de pornire (dacă există) şi trebuie să fie indicată de întreprinderea constructoare. În timpul pornirii (pînă la atingerea turaţiei de regim) valoarea curentului de pornire scade. Se poate adopta în calcul o valoare constantă a curentului de pornire, egală cu 90% din valoarea sa maximă.

Durata pornirii depinde de variaţia cuplului motor şi a celui rezistent la pornire în funcţie de turaţie şi de momentul de giraţie al maselor în mişcare.

În timpul pornirii motoarelor, siguranţele nu trebuie să se topească, fapt care se poate verifica cu ajutorul caracteristicii timp-curent.

Pentru bateriile de condensatoare, curentul nominal al fuzibilelor ales în funcţie de curentul nominal al bateriei se va mări de 1,5—2 ori.

Curentul nominal al soclului siguranţei — se alege egal sau mai mare decît curentul nominal al fuzibilului.

Capacitatea de rupere — se alege astfel încît valoarea efectivă a curentului de rupere simetric nominal al siguranței să fie mai mare sau cel puțin egală cu valoarea efectivă inițială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit din instalație.

În cazul curentului continuu se ia în considerare valoarea stabilizată a curentului de scurtcircuit. În unele cataloage, în locul capacității de rupere nominale se indică puterea de rupere nominală.

Condițiile de referință în care este garantată capacitatea de rupere nominală sînt tensiunea tranzitorie de restabilire și factorul de putere al scurtcircuitului.

Tensiunea tranzitorie de restabilire la locul de montare a siguranței nu trebuie să depășească valoarea de referință indicată de întreprinderea constructoare. De asemenea, factorul de putere real al scurtcircuitului nu trebuie să fie mai mic decît valoarea de referință.

În practică se renunță, în general, la verificarea tensiunii tranzitorii de restabilire și a factorului de putere al scurtcircuitului, admițîndu-se că ele corespund valorilor de referință, pentru care este garantată capacitatea de rupere nominală.

Capacitatea de rupere nominală a unei siguranțe nu este aceeași în curent continuu și în curent alternativ. În lipsa oricărei precizări, valorile indicate în cataloage sînt valabile în curent alternativ, pentru curent continuu fiind necesare indicațiile întreprinderii constructoare.

La întreruperea curenților de scurtcircuit se produc supratensiuni la bornele siguranțelor, care nu trebuie să pună în pericol izolația rețelei. Valorile supratensiunilor produse, determinate prin încercări în anumite condiții, trebuie să fie indicate de întreprinderea constructoare.

Valorile maxime recomandate de C.E.I. (publicația 282—1) pentru siguranțe limitatoare de curent de înaltă tensiune sînt indicate în tabelul 5.2 (extras pentru tensiunile nominale ale rețelelor din România).

Caracteristica timp-curent — reprezintă durata de funcționare a siguranței pentru diverse valori efective inițiale ale componentei periodice a curentului de scurtcircuit (fig. 5.1). Prin durată de funcționare se înțelege, în acest caz, suma duratelor de încălzire, topire și volatilizare a fuzibilului, precum și a duratei de stingere a arcului electric. Caracteristica timp-

Tabelul 5.2

Valorile maxime ale supratensiunilor de funcționare

Tensiunea nominală a siguranței [kV]	Valoarea maximă a supratensiunii de funcționare [kV]
3,6	12
7,2	23
12	38
17,5	55
24	75
72,5	226

curent permite şi determinarea duratei de funcţionare în caz de suprasarcină. Caracteristica timp-curent trebuie să fie indicată printr-o zonă mărginită de două curbe pentru a include abaterile posibile din cauza diferenţelor de fabricaţie.

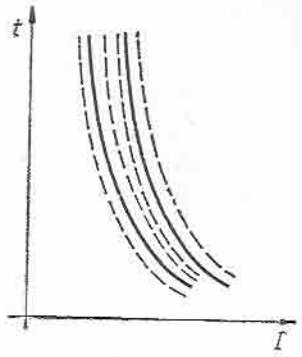


Fig. 5.1

Selectivitatea — permite ca în cazul apariţiei unui scurtcircuit sau suprasarcini într-un circuit avînd mai multe siguranţe montate în serie să se topească mai întîi siguranţa cu cel mai mic curent nominal. Verificarea selectivităţii siguranţelor dintr-un circuit, precum şi a selectivităţii siguranţelor faţă de alte aparate de protecţie se face cu ajutorul caracteristicii timp-curent.

Curentul de rupere limitat — reprezintă valoarea maximă instantanee atinsă de curentul de scurtcircuit pe durata funcţionării siguranţei. Siguranţele fuzibile cu mare putere de rupere (limitatoare de curent) funcţionează atît de rapid (0,5 ms) încît întrerup complet circuitul înainte ca curentul de scurtcircuit să atingă valoarea sa maximă de vîrf.

În afară de elementele menţionate mai sus, la alegerea siguranţelor fuzibile se mai ţine seamă şi de clasa siguranţei, precum şi de tipul constructiv. După funcţia îndeplinită se disting următoarele clase:

— siguranţe de uz general;
— siguranţe de însoţire;
— siguranţe pentru protecţia transformatoarelor de tensiune.

Siguranţele de uz general sînt utilizate ca unică protecţie împotriva scurtcircuitelor şi suprasarcinilor inadmisibile. Ele pot întrerupe, în condiţiile de referinţă specificate de întreprinderea constructoare, orice curent care poate provoca topirea lor, pînă la curentul corespunzător capacităţii de rupere nominale.

Siguranţele de însoţire sînt folosite în asociaţie cu un alt aparat de protecţie împotriva suprasarcinilor. Ele pot întrerupe, în condiţiile de referinţă specificate de întreprinderea constructoare, orice curent cuprins între o anumită valoare minimă (denumită curent minim de rupere nominal) şi valoarea corespunzătoare capacităţii de rupere nominale.

Aceste siguranţe se topesc şi la curenţi mai mici decît curentul minim de rupere nominal, dar nu pot întrerupe arcul format, care astfel continuă pînă la distrugerea siguranţei.

Siguranţele de însoţire nu protejează deci la curenţi de defect mai mici decît curentul minim de rupere nominal. Întreruperea acestor curenţi trebuie să se facă de către aparatul asociat.

Gruparea siguranţelor de însoţire într-o clasă separată este justificată de faptul că aceste siguranţe au caracteristici speciale, diferite de cele ale siguranţelor de uz general. Aceste caracteristici speciale asigură o funcţionare corectă a ansamblului format de siguranţe şi aparatul asociat (în special o corectă selectivitate).

Şi siguranţele de uz general pot fi, de asemenea, asociate cu un alt aparat de protecţie contra suprasarcinilor, dar coordonarea funcţionării ansamblului nu este totdeauna satisfăcătoare.

Siguranțele pentru protecția transformatoarelor de tensiune se caracterizează prin curent nominal redus, capacitate de rupere nominală mare, capacitate de a suporta curenții de șoc care apar la conectarea transformatoarelor de tensiune și rapiditate de funcționare la curenții de defect.

Uneori aceste siguranțe se montează obligatoriu în serie cu rezistențe pentru limitarea curentului de scurtcircuit. Indicații în acest sens se dau de către întreprinderea constructoare.

5.1.2. Construcția siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune

Siguranțele fuzibile se compun din două părți:

— *partea fixă (soclul)* — care conține contactele fixe, bornele de conectare și elementele de izolare electrică a căilor de curent;

— *partea detașabilă (portfuzibilul)* — confecționată din material izolant, care conține elementul fuzibil și contactele mobile respective.

Siguranțele fuzibile se clasifică după cum urmează.

a. După felul instalației în care sînt montate: siguranțe pentru instalații de interior, siguranțe pentru instalații de exterior.

b. După felul curentului: siguranțe de curent alternativ, siguranțe de curent continuu.

c. După durata de ardere: siguranțe normale (rapide), siguranțe cu inerție, siguranțe cu întîrziere.

Siguranțe *normale* (rapide) sînt acele siguranțe, la care nu s-a luat nici o măsură constructivă pentru creșterea inerției termice în timpul arderii fuzibilului.

Siguranțele *cu inerție* sînt acele siguranțe, la care s-au luat măsuri constructive pentru creșterea inerției termice în timpul arderii fuzibilului, fără a se renunța la valorile factorului de topire stabilit.

Siguranțele *cu întîrziere* sînt acele siguranțe la care pe lîngă măsurile constructive luate pentru creșterea inerției termice, factorul de topire poate depăși limitele stabilite pentru siguranțele normale sau cu inerție.

d. După numărul polilor: siguranțe unipolare, siguranțe multipolare (bipolare, tripolare).

e. După protecția lor: siguranțe protejate contra atingerilor accidentale a părților sub tensiune, siguranțe protejate contra umidității.

În funcție de modul de stingere a arcului electric se disting următoarele trei grupe principale:

a. siguranțe cu autosuflaj cu gaze (fig. 5.2, *a*);

b. siguranțe cu material de umplutură (fig. 5.2, *b*);

c. siguranțe cu alungire mecanică a arcului (fig. 5.2, *c*).

Reperele figurii 5.2 au următoarele semnificații: *1* — tub protector, *2* — fir fuzibil, *3* — tub gazogenerator, *4* — tijă, *5* — resort elicoidal, *6* — legătură flexibilă, *7* — terminal de contact și *8* — material de umplutură cu granulație fină.

a. La siguranțele cu autosuflaj cu gaze, stingerea arcului electric se asigură printr-un intens suflaj de gaze, longitudinal, în zona de ardere a arcului.

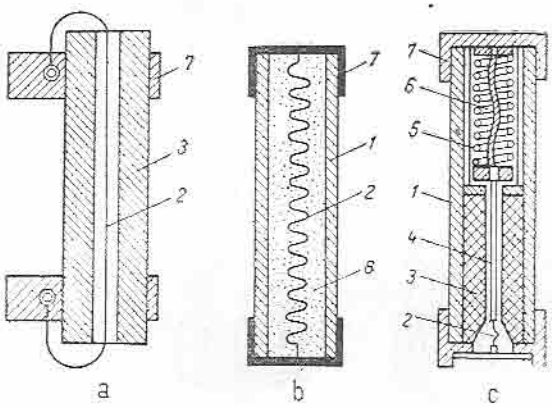


Fig. 5.2

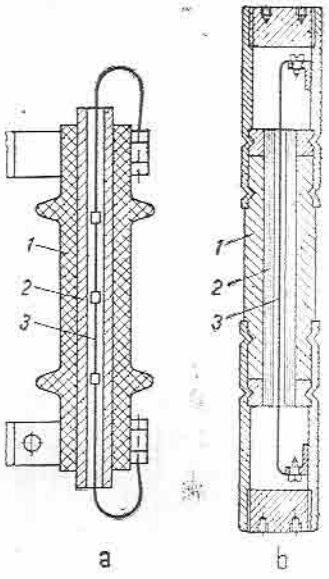


Fig. 5.3

Gazele se obţin prin descompunerea unui material gazogen: fibră, stiplex, acid borid presat, răşini, tetraclorură de carbon, ulei mineral etc. Tubul gazogenerator este protejat printr-un tub *1* de porţelan (fig. 5.3, *a*) sau de bachelită (fig. 5.3, *b*). Aceste siguranţe au un fir fuzibil lung *3* introdus într-un tub gazogenerator *2* cu diametrul interior mic. Gazele de suflaj sînt expulzate pe la capetele deschise ale tubului (fig. 5.3, *a*) sau sînt reţinute în spaţiile libere de sub capace (fig. 5.3, *b*). La siguranţele cu autosuflaj este limitată secţiunea firului fuzibil la valori relativ mici deoarece pe măsură ce creşte secţiunea, creşte şi cantitatea de vapori metalici din zona de ardere a arcului şi deci se înrăutăţeşte stingerea arcului. De asemenea, se menţionează ca un dezavantaj al siguranţelor de acest tip faptul că proprietăţile gazogeneratoare, izolante şi mecanice ale tuburilor scad după un anumit număr de funcţionări.

b. La siguranţele cu material de umplutură cu granulaţie fină se utilizează nisip de cuarţ, talc, cretă, marmură măcinată etc. Materialul de umplutură are proprietatea de a deioniza spaţiul în care se produce arcul electric.

Siguranţele de acest tip (fig. 5.4) sînt constituite din unul sau mai multe fire fuzibile *3* din cupru argintat sau argint introduse într-un tub cilindric *1* din material izolant (porţelan, sticlă, răşini). Firele fuzibile pot fi spiralizate uniform pe un suport *4* (fig. 5.4, *a* şi *b*) sau pot fi realizate sub formă de spirală fără miez (fig. 5.4, *c*) în funcţie de valoarea curentului nominal.

Tubul izolant este închis la capete cu ajutorul unor capace de alamă *2*. Funcţionarea siguranţei poate fi semnalizată de o armătură specială fixată prin intermediul unui resort elicoidal de un fir indicator notat pe figură cu *6*.

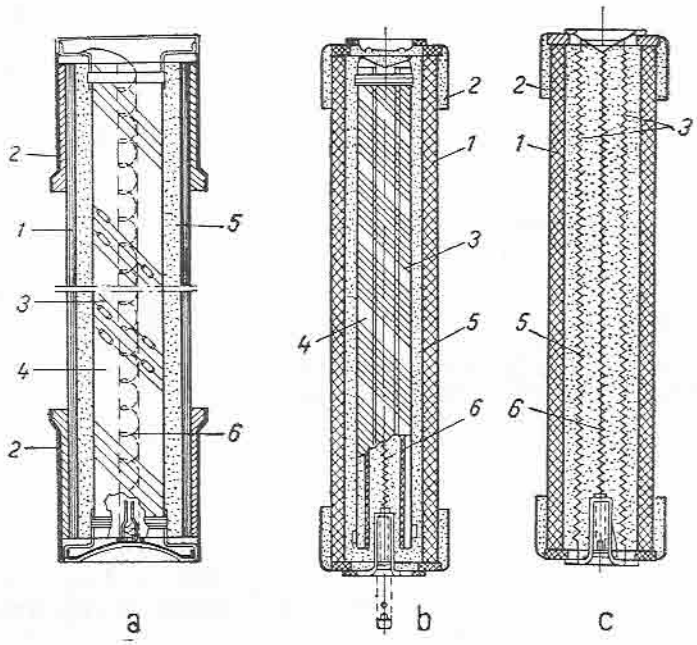


Fig. 5.4

Deoarece topirea fuzibilului este cu atît mai rapidă cu cît acesta are o secțiune mai mică se utilizează pentru curenți nominali mari, mai multe fire fuzibile în paralel.

Pentru limitarea supratensiunilor firul fuzibil se realizează cu secțiunea variabilă în trepte (fig. 5.5).

Pentru reducerea artificială a temperaturii de topire a cuprului sau argintului din care se realizează fuzibilele siguranțelor de înaltă tensiune se utilizează *efectul metalurgic*, adică se aplică pe firul fuzibil un dizolvant metalic sub formă de bobițe de plumb sau cositor. Cînd temperatura firului fuzibil atinge temperatura de topire a plumbului sau cositorului, bobițele se topesc și dizolvă în masa lor metalul cu temperatura de topire mai ridicată. Acest lucru are drept consecință întreruperea firului fuzibil în punctul respectiv și apariția unui arc electric care distruge restul fuzibilului.

Tot pentru reducerea artificială a punctului de topire se utilizează și următoarele soluții: introducerea în elementul fuzibil a unei porțiuni dintr-un metal cu punct de topire mai scăzut sau a unei capsule din sticlă sau porțelan.

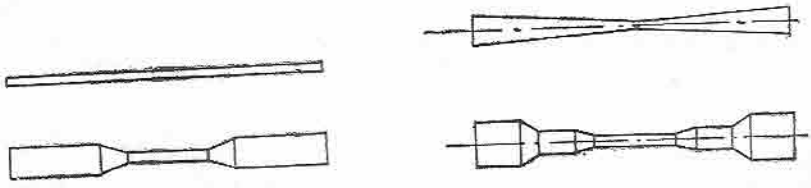


Fig. 5.5

c. Spre deosebire de tipurile de siguranțe fuzibile tratate anterior, la siguranțele cu alungire mecanică a arcului firul fuzibil este mai scurt, iar stingerea arcului are loc la prima trecere prin zero a curentului, după ce arcul a atins lungimea sa critică. Creșterea progresivă a lungimii arcului face ca funcționarea acestui tip de siguranțe să nu fie însoțită de supratensiuni. În figura 5.6, *a* este prezentat portfuzibilul unei siguranțe fuzibile la care alungirea arcului electric se datorește presiunii gazelor obținute prin descompunerea tubului de viniplast *1*.

Arcul electric se formează în capul metalic *2* al portfuzibilului. După topirea fuzibilului *3*, conductorul flexibil *4* este eliberat și sub acțiunea vîrfului de contact *6* (vezi și fig. 5.6, *b*) începe să iasă din tubul portfuzibilului *1*.

Arcul electric este astfel întins în interiorul tubului gazogenerator și produce o intensă degajare de gaze. Suflajul de gaze creează condițiile necesare stingerii arcului electric și în același timp ajută și la evacuarea conductorului flexibil din tub. În figura 5.6, *b* este prezentată siguranța cu expulzie care utilizează portfuzibilul descris mai sus montat pe un izolator suport *5*. Cuțitul de contact *7* este prevăzut cu un resort elicoidal sub

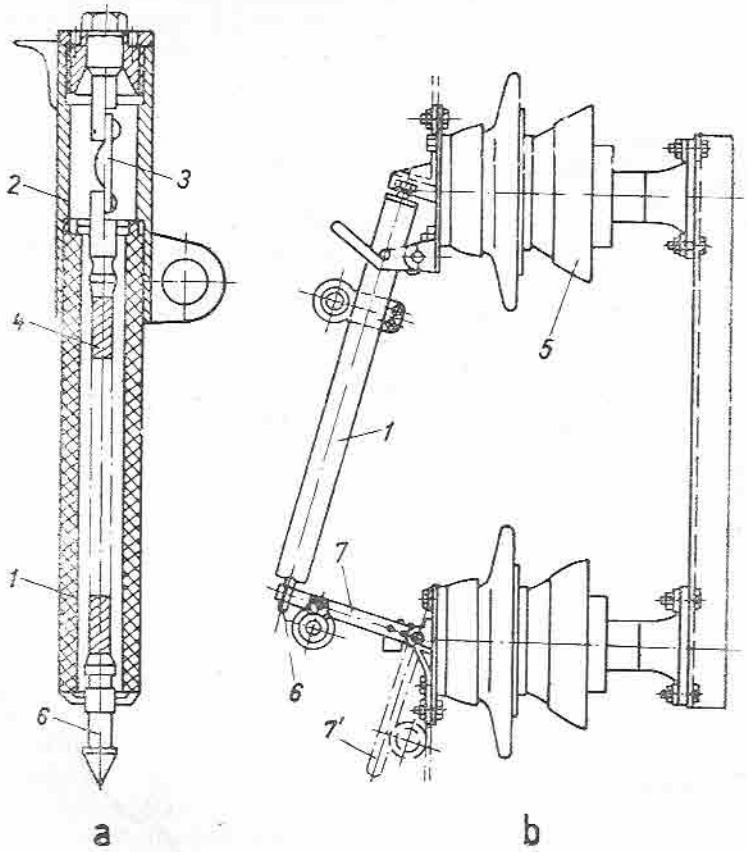


Fig. 5.6

acțiunea căruia se rotește în poziția 7'. Aceste siguranțe se pot utiliza pînă la tensiuni de 220 kV și puteri de rupere pînă la 1500 MVA.

În figura 5.7 este prezentat portfuzibilul unei siguranțe la care arcul electric apărut după topirea elementului fuzibil *1* este alungit cu ajutorul unui resort elicoidal *2* în tubul de sticlă *3* care este umplut cu ulei. Resortul este fixat de un piston din material izolant *4*, prevăzut cu orificii astfel ca prin deplasarea sa să producă un intens suflaj de ulei în zona arcului electric. Aceste siguranțe se produc pentru tensiuni pînă la 220 kV, 500 A și 500—1000 MVA.

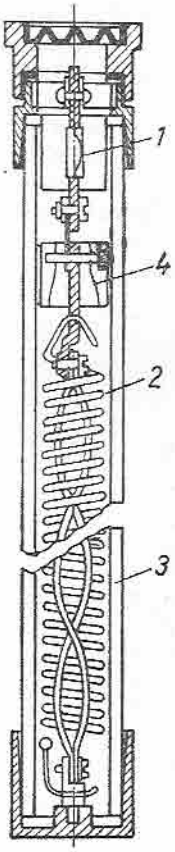


Fig. 5.7

În figura 5.8 este prezentată o siguranță fuzibilă cu dispozitiv de întrerupere cu capsă explozivă care este utilizată în instalațiile cu curenți nominali relativ mari (>100 A). Siguranța se înseriază în circuitul principal prin intermediul terminalelor de contact *4*. În paralel cu conductorul masiv de cupru *2* care conține capsa explozivă, se racordează o siguranță fuzibilă *1*, cu mare putere de rupere și cu curent nominal relativ mic. Protecția cu ajutorul acestei siguranțe se bazează pe întreruperea prin explozie a căii de curent principale (0,1 ms). Curentul trece apoi prin portfuzibilul siguranței *1*, care se topește în cîteva zecimi de milisecundă și întrerupe circuitul cu supratensiuni minime. Siguranța are un puternic efect de limitare a curenților de scurtcircuit. Timpul de funcționare este în jur de 0,5 ms.

Sesizarea defectului și comanda declanșării trebuie să se facă într-un timp extrem de scurt. Se folosesc în acest scop numai elemente electronice. Pot fi adoptate diverse criterii de declanșare, de exemplu, panta de creștere a curentului de scurtcircuit.

În figura 5.9 este prezentată o *siguranță-separator*, adică un aparat cu care se realizează și comutația în regim normal de funcționare (separator de sarcină) și protecția în regim de scurtcircuit (siguranță). Pe un suport izolator turnat *5* sînt montate contactul fix *3* și portfuzibilul sigu-

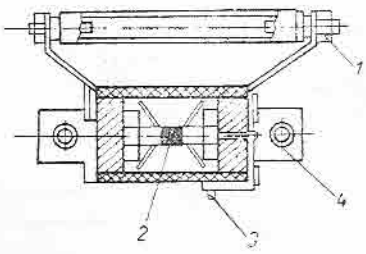


Fig. 5.8

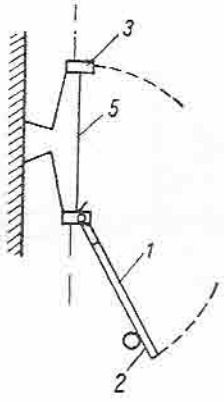


Fig. 5.9

ranței *1*. Contactul mobil *2* se găsește la cealaltă extremitate a portfuzibilului *1*. În consecință, rolul cuțitului separatorului va fi îndeplinit de portfuzibil. În regim de scurtcircuit, după acționarea siguranței, portfuzibilul se rotește în articulația inferioară, sub acțiunea unui resort spiral. Portfuzibilul poate fi demontat sub tensiune, de la distanță, cu ajutorul unei tije izolante.

În poziție conectată, portfuzibilul nu se poate deplasa sau roti în articulația inferioară.

Se realizează siguranțe-separator pentru tensiuni pînă la 110 kV, 100 A, 1000 MVA.

Siguranțele cu dispozitiv de reanclanșare automată au contacte suplimentare și portfuzibile de rezervă care sînt introduse în circuit, în mod automat, după funcționarea portfuzibilului principal.

Portfuzibilul de rezervă este în permanență conectat la partea superioară cu portfuzibilul activ, în timp ce la partea inferioară, legătura între contactele portfuzibilelor se stabilește printr-un contact mobil, acționat de un mecanism, numai în cazul arderii fuzibilului principal.

Pauza de curent la acționarea mecanismului este de 0,1—0,15 s putînd fi reglată și la alte valori (0,5—8 s) cu ajutorul unui dispozitiv special.

5.1.3. Variante de execuție și caracteristici tehnice

Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune produse de Uzinele Electroputere Craiova, atît pentru instalații de interior cît și de exterior, sînt simbolizate în felul următor: *SF* — suport pentru siguranță fuzibilă; *F* — fuzibil (portfuzibil); *I* — de interior; *E* — de exterior; *T* — pentru transformatoare de tensiune; *B* — bipolare, iar cifrele ce însoțesc grupul de litere reprezintă tensiunea nominală și curentul nominal al siguranței.

Exemple:

FI 10/40 — fuzibil de interior, de 10 kV, 40 A;

SFIT 35 — suport pentru siguranță fuzibilă de interior de 35 kV, pentru transformator de tensiune.

Siguranțele fuzibile de interior tip SFI sau SFIT se execută în construcție monopolară. Siguranțele fuzibile de exterior tip SFEB se execută în construcție bipolară, iar siguranțele tip SFE și SFET în construcție tripolară, cu excepția celor de 35 kV care sînt monopolare.

Toate aceste siguranțe sînt formate dintr-un cadru metalic cu izolatoare suport pe care sînt montate contactele pentru introducerea portfuzibilelor.

Izolatoarele suport sînt tip SAI cu armătură interioară. Contactele sînt confecționate din metal neferos.

Industria electrotehnică din țara noastră execută siguranțe de înaltă tensiune pentru montaj interior tip SFI (pentru protecția circuitelor principale) și tip SFIT pentru protecția transformatoarelor de tensiune. De asemenea, se realizează și siguranțe pentru montajul exterior SFE (pentru circuitele principale) și SFET (pentru transformatoare de tensiune).

Siguranțele de înaltă tensiune, de producție românească sînt formate din portfuzibile de porțelan ermetic închise cu ajutorul unor capace de contact din cupru argintat, în care se află un fir fuzibil și nisip de cuarț ca mediu de stingere.

Compoziția chimică a nisipului de cuarț este următoarea : SiO_2 — 99,5% ; Al_2O_3 — 0,12% ; Fe_2O_3 — 0,04% ; CaO — 0,1% ; MgO — 0,01% ; pierderi prin calcinare — 0,14%. Granulația nisipului de cuarț este cuprinsă între 0,2 și 0,3 mm, iar umiditatea maximă admisă este de 0,005%.

Conform normelor de încercare, fuzibilele siguranțelor pentru protecția circuitelor principale trebuie să se topească după o oră de funcționare la un curent egal cu $1{,}3I_n$ și sub o oră la un curent de topire de $2I_n$.

La siguranțele fuzibile pentru protecția transformatoarelor de tensiune trebuie ca firul fuzibil să se topească la un curent cuprins între 0,6...1,8 A pe o durată de 1 minut. Unele norme străine (GOST) admit valori ale curentului de topire pentru siguranțele de protecție a transformatoarelor de tensiune pînă la 2,5 A.

Siguranțele fuzibile de mare putere de rupere, în execuție normală, sînt destinate a funcționa în următoarele condiții menționate mai jos.

a. Siguranțele fuzibile de interior de tip SFIn, SFITn echipate cu portfuzibile tip FIn și FITn sînt destinate a funcționa în montaj interior, unde :

— temperatura maximă a mediului ambiant să nu depășească 40°C, iar valoarea sa medie măsurată în intervalul de 24 ore să nu depășească +35°C ;
— temperatura minimă a mediului ambiant să nu depășească —25°C ;
— altitudinea să nu depășească 1000 m ;
— umiditatea relativă să nu depășească 70%.

b. Siguranțele fuzibile de exterior tip SFEn, SFETn echipate cu portfuzibile tip FEn, FETn sînt destinate a funcționa în montaj exterior (în aer liber) unde :

— temperatura mediului ambiant să fie cuprinsă între —25°C și +40°C ;
— umiditatea relativă a aerului —100% ;
— altitudinea să nu depășească 100 m.

Portfuzibilele de interior FIn sînt prevăzute cu indicator de semnalizare, realizat cu un resort, semnalizînd în mod vizibil dacă siguranța fuzibilă a funcționat sau nu. Indicatorul poate acționa diferite mecanisme din instalație, dezvoltînd o forță de acționare de circa 2 daN.

Pentru a nu modifica caracteristica de funcționare a portfuzibilului, ansamblul indicator de semnalizare este susținut de un fir de alamă sau oțel prin intermediul unei bucșe izolante din termo-ceramit grafitat coloidal. După topirea firului fuzibil de argint și apariția tensiunii de restabilire, suprafața bucșei izolante grafitate este conturnată și permite topirea firului de susținere a indicatorului, făcînd ca acesta să acționeze.

Portfuzibilele de tip FEn nu posedă indicator de semnalizare-acționare.

Portfuzibilele din întreaga serie FIn 6—35 kV/2,5—100 A și FEn 6—35/2,5—100 A au firul fuzibil executat cu secțiuni în trepte fapt ce asigură supratensiuni de comutație ce nu depășesc valoarea de $1{,}9\ U_n$ în funcționare la scurtcircuit, iar punctul inițial de fuziune este plasat aproximativ la jumătatea firului fuzibil în cazul funcționării la supracurenți.

Portfuzibilele tip FIn—FEn prezintă proprietăți bune de limitare a curentului de scurtcircuit. Figura 5.10 prezintă caracteristicile curenților limitați ai portfuzibilelor pentru curenții nominali de 2,5—100 A.

Pe axa absciselor sînt prezentate valorile efective ale curentului de scurtcircuit prezumat, iar pe axa ordonatelor sînt indicate valorile maxime ale curentului limitat.

Puterea de limitare a curentului de scurtcircuit asigurată de portfuzibilele tip FIn—FEn se datorește faptului că firul de argint are o secțiune mică și în trepte creînd puncte inițiale de topire la valori relativ mici ale curenților.

Calitatea de limitare a curentului de scurtcircuit a siguranțelor prezentate devine mai accentuată dacă se ia în considerare că durata de trecere a curentului de scurtcircuit în circuitul protejat de siguranța fuzibilă este numai de cîteva milisecunde (maxim 4—5 ms) astfel că circuitul este pe deplin protejat contra efectelor termice de scurtcircuit.

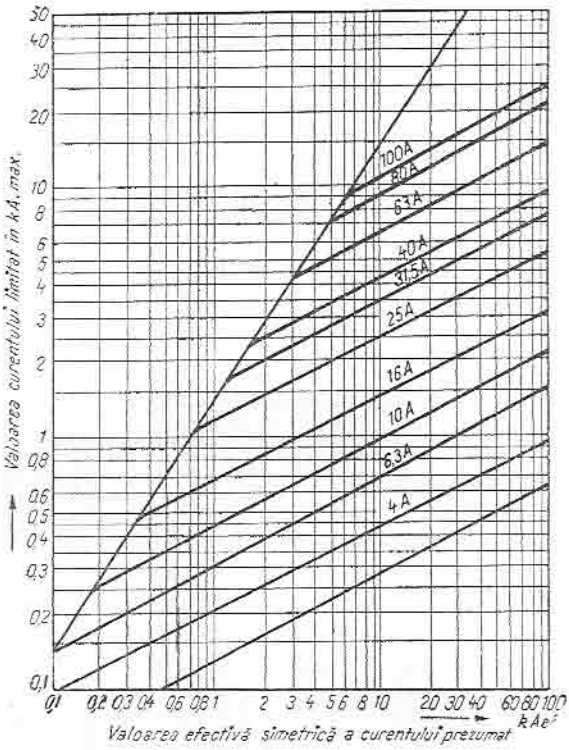


Fig. 5.10

Construcția portfuzibilelor pentru protecția transformatoarelor de tensiune pentru montaj interior și exterior tip FITn 6—35 kV și FETn 6—35 kV, este asemănătoare cu a portfuzibilelor FEn 6—35 kV ca aspect exterior și dimensiuni de gabarit.

Pentru construcția acestora se folosesc aceiași suporți ai firului fuzibil din termo-ceramit.

Firul fuzibil este din constantan cu secțiune constantă și nu sînt prevăzute cu indicator de semnalizare.

Suporții siguranțelor de interior tip SFIn—SFITn 6—35 kV se execută în construcție monopolară. În funcție de portfuzibilele folosite, suportul fuzibil se execută în două variante.

Actualmente Uzinele Electroputere execută 36 tipo-dimensiuni de siguranțe fuzibile de interior prin folosirea numai a trei diametre de portfuzibile prevăzute cu capace de contact de același diametru (Ø 55 mm) ceea ce a permis tipizarea la maximum a ansamblelor contact-suport.

Suporții siguranțelor de exterior tip SFEn și SFETn se execută după cum urmează:

— la tensiunea nominală de (6)10—(15)20 kV în construcție bipolară și tripolară tip SFEBn și SFEn;

Tabelul 5.3

Caracteristicile tehnice ale siguranţelor fuzibile de înaltă tensiune

Tipul siguranţei		Curentul nominal [A]	Tensiunea [kV]		Puterea de rupere trifazată [MVA]	Curentul maxim de rupere la tensiunea nominală [kA]	Curentul maxim de rupere în [%] din I_n
Suport	Port-fuzibil		nominală	maximă de serviciu			
1	2	3	4	5	6	7	8
Siguranţe de interior de tip FI, FIT							
SFI—3	FI—3	2 3,5 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300 400	3	3,4	200	40	—
SFI—6	FI—6	2 3,5 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300	6	6,9	200	20	—
SFI—10	FI—10	2 3,5 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200	10	11,5	200	12	—
SFI—(15) —20	FI—15	2 3,5 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100	15	17,5	200	7,7	—
SFI—35	FI—35	23 5 7,5 10 15 20 30 40	35	40,5	200	3,5	—
SFIT—3 SFIT—6 SFIT—10	FIT—3 FIT—6 FIT—10	—	3 6 10	3,4 6,9 11,5	500 1000 1000	100 85 50	—
Siguranţe de exterior de tip FE şi FET							
SFE—6	FE—62	2 3 5 7,5 10 15 20 30	6	6,9	28	200	20
SFE—(15) —20	FE(—15) —20	2 3 5 7,5 10 15 20 30	15	17,5	47	200	7,7
SFE—35	FE—35	2 3 5 7,5 10 15 20 30 40	35	40,5	80	200	3,5
SFET—35	FET—35	—	35	40,5	80	1000	17

— la tensiunea nominală de 35 kV — în construcţie monopolară tip SFEn—35 kV, care echipate cu portfuzibile FEn—35 kV/2,5—40 A sînt destinate protecţiei circuitelor de forţă, iar echipate cu portfuzibile tip FETn—35 kV sînt destinate pentru protecţia transformatoarelor de tensiune de exterior de 35 kV.

În tabelul 5.3 sînt date principalele caracteristici tehnice ale siguranţelor fuzibile de înaltă tensiune de interior şi exterior, pentru protecţia circuitelor de forţă sau a transformatoarelor de tensiune.

În figurile 5.11, 5.12 şi 5.13 sînt prezentate caracteristicile timp-curent pentru diferite portfuzibile.

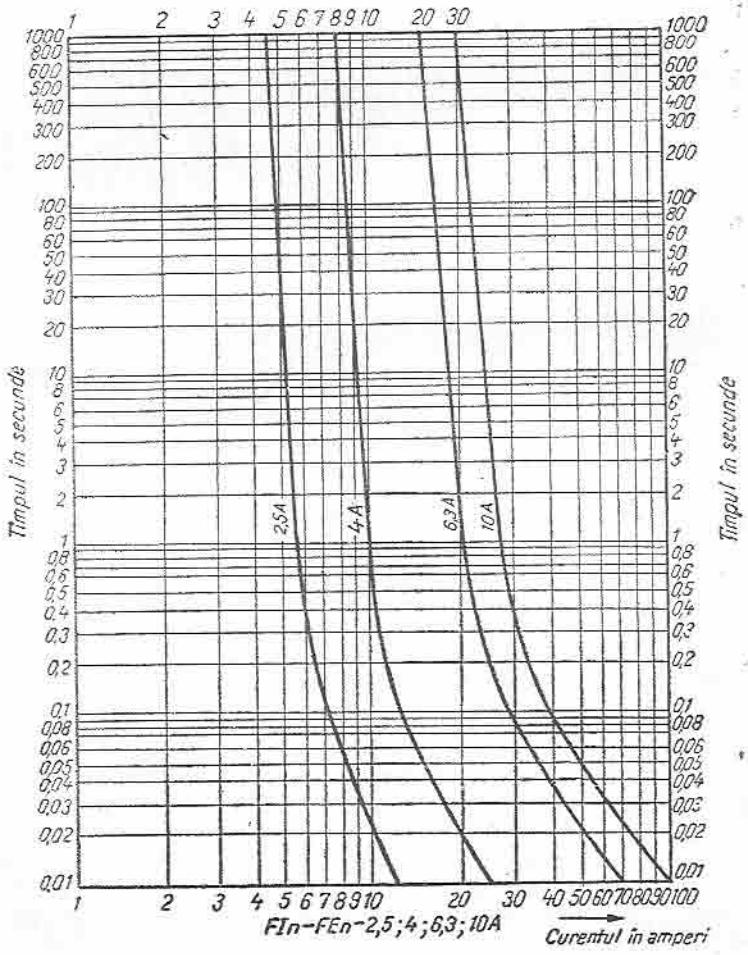


Fig. 5.11

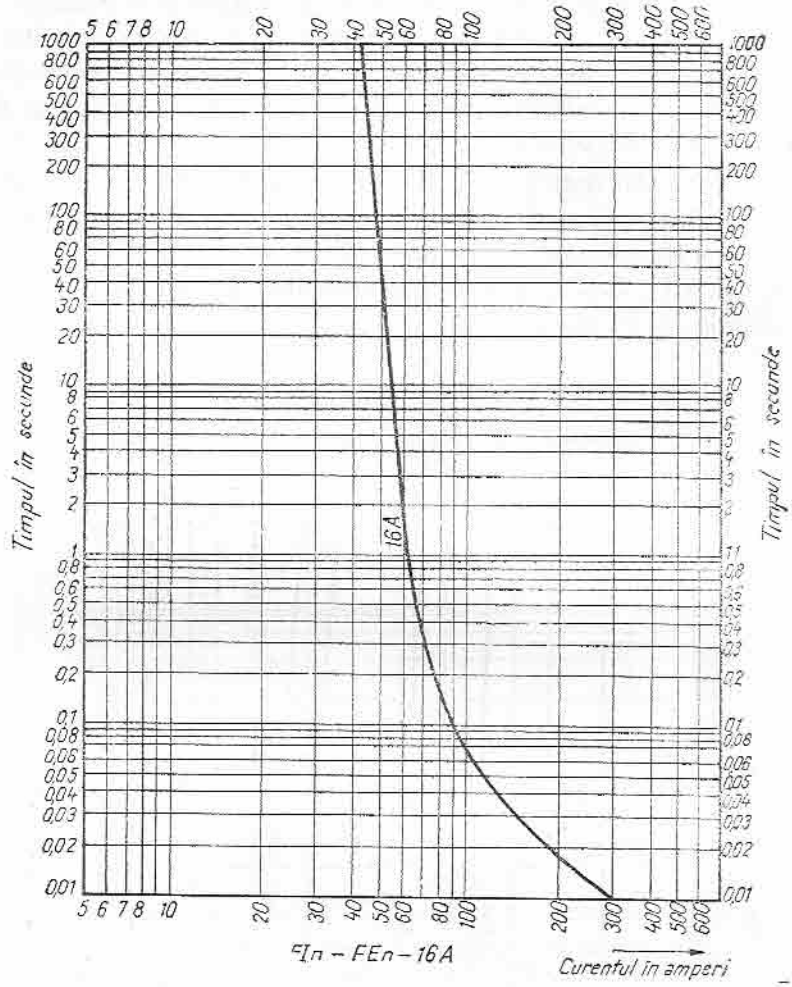


Fig. 5.12

5.1.4. Montarea, întreținerea și exploatarea siguranțelor fuzibile

O siguranță fuzibilă înseriată într-un circuit electric este destinată să protejeze în permanență acest circuit în limitele caracteristicii sale de protecție. Modul în care siguranța fuzibilă își va îndeplini funcțiile sale depinde atît de precizia cu care a fost executată cît și, în egală măsură, de utilizarea corectă și de întreținerea care i se acordă după instalare.

Pentru asigurarea performanțelor indicate trebuie să se respecte următoarele reguli.

Siguranțele fuzibile trebuie să fie montate respectîndu-se poziția specificată de constructor în norma internă. Pentru dispunerea multipolară a

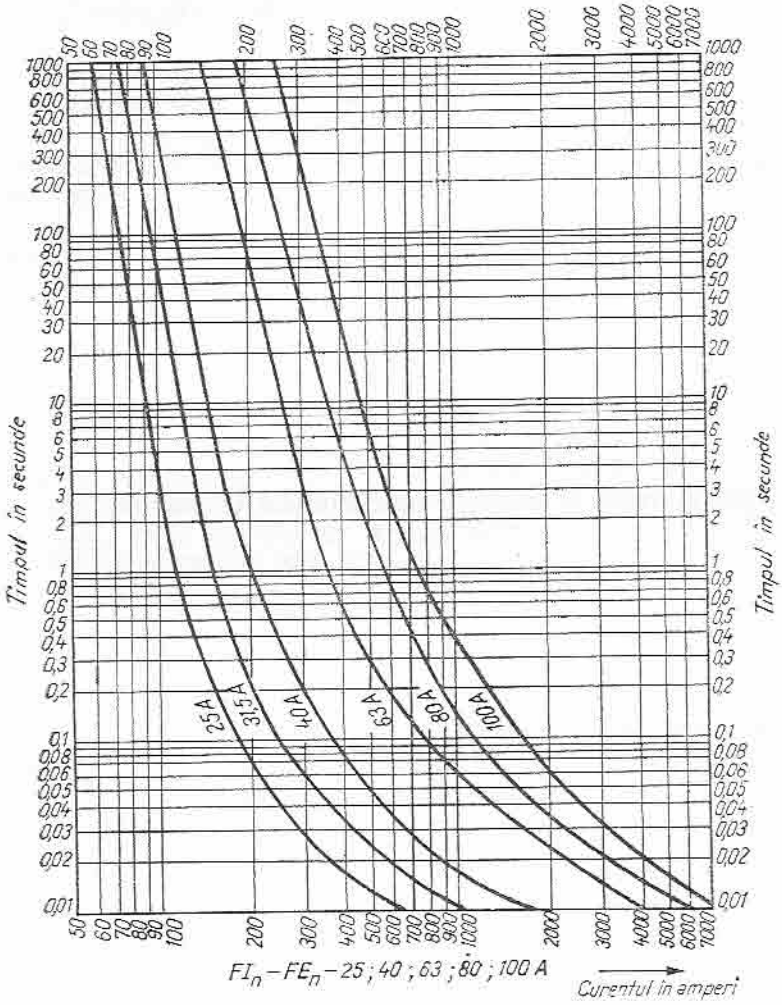


Fig. 5.13

siguranţelor fuzibile, cînd distanţa între poli nu este fixată prin construcţie (construcţie monopolară), polii trebuie să fie montaţi la distanţă cel puţin egală cu aceea specificată de constructor.

În circuitele de înaltă tensiune se montează cîte o siguranţă fuzibilă pe fiecare fază. Se admit excepţii în reţelele cu neutrul nelegat efectiv la pămînt, pentru circuitele foarte scurte. De exemplu, transformatoarele de tensiune în V pot fi uneori protejate numai prin două siguranţe fuzibile, pe fazele necomune. Astfel de soluţii vor fi evitate în circuitele importante, de exemplu, la transformatoarelor de tensiune racordate la barele colectoare.

Înainte de montarea siguranţelor fuzibile se va face o examinare atentă a aparatelor urmărindu-se aspectele menţionate mai jos.

1. Toate şuruburile să fie bine strînse.

2. Izolatoarele de porţelan să nu prezinte crăpături în urma transportului, iar suprafaţa lor să fie perfect curată.

3. Contactele fixate pe acelaşi pol să fie aşezate pe acelaşi ax, iar prin introducerea portfuzibilului se va verifica ca lamelele de contact să calce cu presiune pe capacele portfuzibilului.

4. Portfuzibilele să nu prezinte crăpături în porţelan sau în zona armată, capacele să nu fie deformate, iar suprafeţele lăcuite să aibă pelicula de lac continuă. În caz contrar se va efectua din nou lăcuirea.

5. Prin apăsarea cu degetul pe indicatorul de semnalizare se va verifica dacă acesta nu este blocat; blocarea indicatorului nu influenţează funcţionarea siguranţei, însă nu va indica topirea firului fuzibil în momentul funcţionării.

6. Se verifică tensiunea şi curentul marcat pe capacul portfuzibilului, ca acestea să corespundă cu tensiunea şi curentul de sarcină al reţelei.

7. Înainte de montaj contactele se vor curăţa de praf şi murdărie şi se vor da cu un strat de vaselină pură.

8. Poziţia normală de montare a siguranţelor fuzibile este cea verticală, cu indicatorul de semnalizare în jos.

Datorită folosirii zăvorului de oţel arc care strînge portfuzibilul în contacte şi nu permite desprinderea portfuzibilului, siguranţele se pot monta, acolo unde situaţia impune, şi în poziţie orizontală.

9. În cazul montajelor trifazate se vor utiliza trei siguranţe monopolare (dacă nu există o siguranţă fuzibilă trifazată prin construcţie); În acest caz se va avea grijă ca distanţele între axele a două siguranţe vecine să nu fie mai mici decît valorile indicate în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4

Distanţe admisibile între polii siguranţelor fuzibile

Tensiunea nominală [kV]	Curentul nominal [A]	Distanţa minimă între axele polilor vecini [mm]
6	2,5—100	180 (250 pentru exterior)
10	2,5—100	210 (300 pentru exterior)
(15)20	2,5—100	300 (450 pentru exterior)
35	2,5—100	400 (650 pentru exterior)

10. La fixarea soclului de peretele celulei, (pentru siguranţe fuzibile de interior) capul şurubului de fixare se va monta în mod obligatoriu pe soclul suportului; fixarea şurubului cu piuliţe deasupra soclului poate micşora distanţele electrice minime ale aparatului (vezi fig. 5.14).

11. Barele de legătură se vor găuri la capăt pentru racordare cu Ø 12,5 mm şi se vor cositori pe suprafaţa de contact. La legarea barei la bornele de intrare-ieşire ale siguranţei se va avea grijă ca ea să se aplice peste placa de alamă a contactului, placa de oţel a ansamblului contact servind numai pentru mărirea rezistenţei mecanice a contactului.

12. Şurubul bornei se va monta cu piuliţe deasupra pentru a nu se micşora distanţa de izolaţie fază-pămînt.

13. Legătura la pămînt se va face la fiecare suport cu o bară de cupru sau oţel de secţiune de cel puţin 25 × 4 mm; capătul barei se va curăţa pînă la luciul metalic, se va găuri cu Ø 12,5 mm şi se va unge cu vaselină; apoi se va strînge cu şurub.

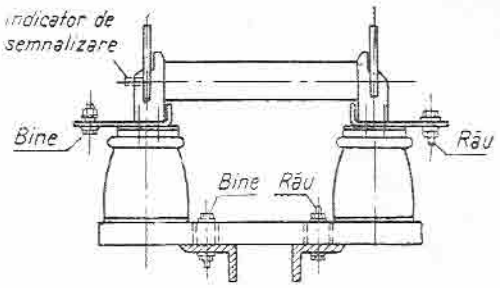


Fig. 5.14

În continuare se precizează principalele reguli de exploatare ale siguranţelor fuzibile.

1. Este interzisă scoaterea sau introducerea portfuzibilului în contacte cînd circuitul este sub sarcină, acest lucru dînd naştere la accidente (scurtcircuit).

Această operaţie se poate face cînd reţeaua este numai sub tensiune cu ajutorul tijelor izolante speciale.

2. Se recomandă, ca o măsură de precauţie, ca înlocuirea portfuzibilelor să se facă după ce a fost deschis separatorul.

3. După montarea portfuzibilelor în suport se vor asigura cu zăvorul care împiedică aruncarea portfuzibilului din contact.

4. Este interzisă punerea sub sarcină a circuitului dacă zăvoarele nu au fost închise.

5. Periodic (odată la 6 luni) se vor şterge de praf izolatoarele suport ale siguranţelor.

6. Portfuzibilele uzate se vor înlocui, iar cele cu firul fuzibil ars se vor regenera numai de uzina constructoare sau altă unitate specializată. Este interzisă reîncărcarea portfuzibilelor de către persoane neautorizate.

7. Se recomandă ca în cazul arderii unui portfuzibil de pe o fază, să fie înlocuite toate cele trei portfuzibile din montajul trifazat.

5.2. Descărcătoare

5.2.1. Consideraţii generale

Descărcătoarele sînt aparate de protecţie destinate să protejeze echipamentele electrice împotriva supratensiunilor atmosferice şi de comutaţie.

Descărcătoarele trebuie deci să amorseze şi să asigure descărcarea unei unde de supratensiune la valori mai mici decît nivelul de ţinere al instalaţiei. De asemenea, după descărcare, ele trebuie să asigure întreruperea curentului de însoţire, adică a curentului produs de tensiunea reţelei după trecerea curentului de impuls.

În paragraful 2.4.1 s-au analizat succint diferitele tipuri de supratensiuni care pot să apară în funcţionarea unei instalaţii electrice.

Supratensiunile de origină atmosferică au forma unor unde de impuls cu o amplitudine de sute sau chiar mii de kV, cu o durată de ordinul micro-

secundelor. Aceste supratensiuni se propagă pe liniile electrice aeriene sau în cablu, se reflectă parțial sau total în punctele de derivații, la capetele circuitelor etc. și se amortizează. Frecvența și caracteristicile supratensiunilor atmosferice se stabilesc pe baze statistice. Pentru țara noastră sînt valabile următoarele valori medii:

— 30,9 zile de furtună pe an, respectiv 89,34 h de furtună pe an;
— 2910 lovituri de trăsnet pe an;
— 0,045 lovituri de trăsnet pe o suprafață de 1 km² și la o zi de furtună.

Se poate considera că panta undelor incidente de tensiune care ajung în stații este cel mult 500 kV/μs la liniile electrice aeriene protejate cu conductoare de protecție pe toată lungimea lor sau numai în apropierea stației și de cel mult 1000 kV/μs la cele neprotejate.

Supratensiunile de comutație au o durată de ordinul milisecundelor și o pantă mult mai mică decît a supratensiunilor atmosferice. De asemenea, amplitudinea lor nu depășește de 2—3 ori tensiunea pe fază cu excepția cazului în care se întrerup transformatoare în gol. Valorile acestor supratensiuni depind de următorii factori mai importanți:

— de felul aparatului de comutație utilizat;
— de felul comutației (conectare, deconectare, cicluri etc.);
— de configurația și parametrii fizici ai rețelei.

Nivelul de izolație se definește prin valorile tensiunilor de încercare (ținere) la impuls și la frecvență industrială, precum și prin lungimea liniei de fugă a izolatoarelor. Tensiunile de încercare prevăzute în STAS 6489—67 sînt indicate în tabelele 5.5 și 5.6.

Tabelul 5.5

Tensiunile de ținere ale echipamentului de interior și de exterior, pentru tensiuni $U_n < 110$ kV, conform STAS 6489—67

Tensiunea nominală (valoare efectivă) [kV]	Tensiunea maximă de serviciu (valoare efectivă) [kV]	Tensiune de ținere la impuls, undă 1,2/50 pozitivă și negativă (amplitudine) [kV]	Tensiune de ținere la frecvență industrială (valoare efectivă) [kV]	
			Izolație plină	Izolație redusă
3	3,6	45	16	21
6	7,2	60	22	27
10	12	75	28	35
15	17,5	95	38	45
20	24	125	50	55
25	30	150	60	65
35	42	195	80	85
60	72,5	325	140	140

Tabelul 5.6

Tensiunile de ţinere ale echipamentului electric de interior şi de exterior, pentru $U_n \geqslant 110$ kV, conform STAS 6489—67

Tensiune nominală (valoare efectivă) [kV]	Tensiune maximă de serviciu (amplitudine) [kV]	Tensiune de ţinere la impuls, undă 1,2/50 pozitivă şi negativă (amplitudine) [kV]		Tensiune de ţinere la frecvenţă industrială (valoare efectivă) [kV]	
		Izolaţie plină	Izolaţie redusă	Izolaţie plină	Izolaţie redusă
110	125	550	450	230	185
220	245	1050	900 825 750	460	395 360 325
400	420	—	1675 1550 1425 1300	—	740 680 630 570

Pînă la tensiunea nominală de 110 kV, nivelul de izolaţie al reţelelor şi echipamentelor electrice este determinat, în general, de supratensiunile atmosferice. Rolul preponderent în stabilirea nivelului de izolaţie al echipamentului electric cu tensiunea nominală peste 110 kV îl au supratensiunile de comutaţie.

Protecţia izolaţiei echipamentelor electrice împotriva supratensiunilor depinde de natura acestora.

Una din căile principale pentru limitarea supratensiunilor constă în utilizarea unor descărcătoare corespunzătoare. Cu ajutorul descărcătoarelor pot fi asigurate concomitent nivele de protecţie convenabile din punct de vedere tehnic şi economic. Nivelul de protecţie se determină din următoarele caracteristici ale descărcătoarelor.

— tensiunea de stingere U_s, adică tensiunea maximă de frecvenţă industrială la care descărcătorul poate să stingă curentul de însoţire;

— coeficientul de stingere α_s, adică raportul dintre tensiunea de stingere şi tensiunea maximă de serviciu a reţelei;

— tensiunea de amorsare la impuls (pe frontul undei U_{af} şi pe coada undei $-U_{ac}$), tensiunea de amorsare la unde aperiodice lungi U_{aa} şi tensiunea de amorsare la frecvenţă industrială U_{as};

— tensiunea reziduală U_{rez} adică căderea de tensiune pe descărcător la trecerea curentului nominal de impuls (1,5; 3; 5; 10; 20 kA şi 8/20 μs) al descărcătorului;

— capacitatea de trecere i_s, caracterizată, fie prin trecerea unui impuls de curent mare (100—200 kA) un timp scurt (4/10 μs), fie prin trecerea unui impuls de curent relativ mic (400—1000 A) un timp relativ mai mare (2000 s).

Constructiv un descărcător este alcătuit, de regulă, dintr-un dispozitiv care să permită amorsarea arcului în cazul supratensiunilor şi dintr-un dispozitiv de stingere a curentului de însoţire de frecvenţă industrială.

În funcţie de modul de realizare a dispozitivelor de amorsare şi de stingere se disting următoarele categorii de descărcătoare:

— eclatoare cu coarne;
— descărcătoare tubulare;
— descărcătoare cu rezistenţă variabilă;
— descărcătoare cu suflaj magnetic.

5.2.2. Eclatoare

Eclatoarele sau intervalele de protecţie cu coarne sînt cele mai simple aparate de protecţie împotriva supratensiunilor de origine atmosferică.

Se construiesc trei tipuri de eclatoare cu coarne (fig. 5.15, *a*), cu tijă (fig. 5.15, *b*) şi cu inele ecran sau coarne de protecţie (fig. 5.15, *c*).

Domeniul de aplicare al eclatoarelor este limitat la reţele electrice aeriene cu tensiuni nominale de 3—35 kV, pentru protecţia posturilor de transformare rurale. Intervalele de protecţie se montează pe stîlpii liniilor electrice (pe console special amenajate) sau pe stîlpii posturilor de transformare, la o înălţime minimă faţă de sol de 2,5 m.

În figura 5.16 se prezintă schema de protecţie cu ajutorul unui eclator cu coarne (*1* — electrod racordat la linia electrică, *2* — electrod legat la pămînt, *3* — izolator).

O atenţie deosebită se acordă stabilirii distanţei disruptive *d* dintre electrozii spaţiului disruptiv, precum şi distanţei dintre arc şi suprafaţa de porţelan a izolatorului. În cele ce urmează se dau valori cu caracter orientativ pentru *d*, rezultate din experienţa personalului de exploatare şi din literatura de specialitate (tab. 5.7).

Valoarea distanţei dintre arcul electric şi suprafaţa de porţelan a izolatorului se ia:

— 0,7 *d* pentru tensiuni pînă la 35 kV inclusiv;
— 0,4 *d* pentru tensiuni peste 35 kV.

În exploatare se urmăreşte periodic starea electrozilor intervalelor de protecţie cu coarne (să nu fie deformate, ruginite), precum şi starea izolatoarelor şi a legăturii la pămînt.

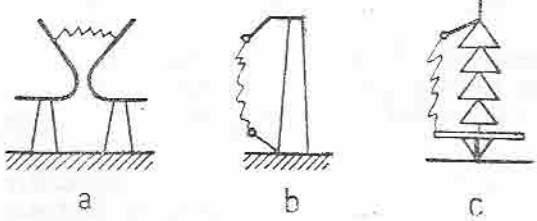


Fig. 5.15

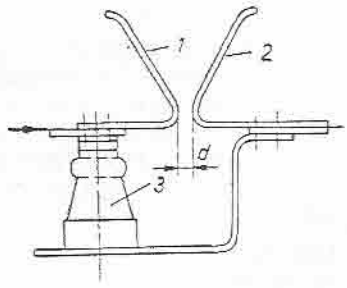


Fig. 5.16

Tabelul 5.7

Valorile recomandate pentru distanța disruptivă, în cm

Valoarea efectivă a tensiunii nominale [kV]	La capete de linii protejate				Pentru protejarea intrărilor	
	Linie		Post de transformare			
	Cu parapasăre	Fără parapasăre	Cu parapasăre	Fără parapasăre	Cu parapasăre	Fără parapasăre
6	3,5	2	2	1	3	1,6
10	4,5	3	3	2	4	2,5
15	5	3,5	4,5(5)	3(3,5)	5	3,5
20	6(8)	4,5(5,5)	6(7)	4,5	6,5	4,5
25	11	9,5	7(8,5)	5(6,5)	8	6
35	—	—	9,5	7,5	—	19
110	—	—	—	—	—	52
220	—	—	—	—	—	110

Distanțele disruptive și distanțele dintre arcul electric și suprafața izolatorului de porțelan se verifică cel puțin o dată pe an și în caz că se constată deregl ări se fixează din nou distanțele respective conform indicațiilor.

Inelele sau coarnele de protecție se utilizează mai ales pentru protecția lanțurilor de izolatoare la liniile electrice aeriene de înaltă tensiune.

5.2.3. Descărcătoare tubulare

Descărcătoarele tubulare sînt aparate de protecție destinate în special, pentru protecția liniilor electrice aeriene împotriva supratensiunilor atmosferice.

Elementele componente și schema de principiu a descărcătorului tubular sînt prezentate în figura 5.17.

Descărcătorul tubular (fig. 5.17, *a*) se compune dintr-un tub *7* de fibră sau de material plastic, gazogenerator. La capetele tubului se găsesc cei doi electrozi metalici *1* și *4* care formează spațiul disruptiv *interior*. Electrodul *1* se leagă la pămînt. La extremitățile izolatorului *8* de la capătul tubului gazogenerator se montează tijele metalice

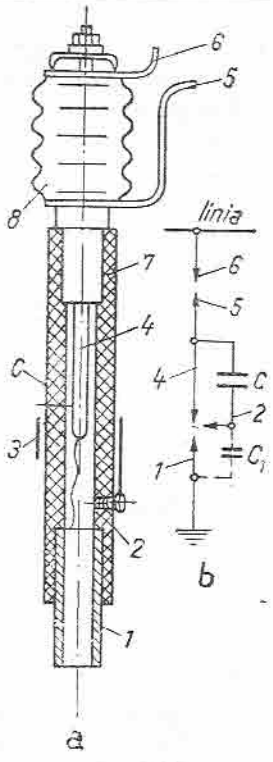


Fig. 5.17

5 şi *6* care constituie spaţiul disruptiv *exterior* şi prin care se evită ca tubul să fie în permanenţă sub tensiune.

Electrodul *6* se racordează la linie. Inelul exterior metalic *3* din jurul tubului gazogen are rolul de a accelera amorsarea spaţiului disruptiv interior. Descărcătorul mai este prevăzut şi cu un electrod auxiliar *2*. Între electrodul *4* şi inelul *3* se formează o capacitate C, iar între electrodul *1* şi electrodul auxiliar *2* — capacitatea C_1 (fig. 5.17, *b*).

Principiul de funcţionare al descărcătorului tubular este următorul. La apariţia supratensiunii atmosferice este străpuns spaţiul disruptiv exterior.

Apoi, deoarece capacitatea C este mai mare decît capacitatea C_1, spaţiul disruptiv interior va fi străpuns în două etape: mai întîi va fi amorsat spaţiul dintre electrozii *1* şi *2* şi apoi spaţiul dintre electrozii principali *4* şi *1*.

Arcul electric stabilit în interiorul tubului se va menţine şi după descărcarea la pămînt a undei de înaltă tensiune. Prin descompunerea pereţilor tubului gazogenerator, arcul va fi supus unui intens suflaj longitudinal de gaze care vor stinge arcul electric într-un timp foarte scurt (0,01—0,02 s). După întreruperea curentului de însoţire (stingerea arcului din interiorul tubului) arcul din spaţiul disruptiv exterior se stinge de la sine.

Ca urmare a funcţionării repetate, pereţii interiori ai tubului gazogenerator se consumă, prezintă eroziuni sau depuneri de zgură. Acest lucru conduce la micşorarea capacităţii de stingere a arcului prin micşorarea capacităţii de producere a gazelor, prin reducerea presiunii din interiorul tubului şi a intensităţii jetului de gaze longitudinal.

La proiectarea descărcătoarelor tubulare, problema principală constă în alegerea diametrului interior al tubului şi a lungimii spaţiilor disruptive.

Folosirea descărcătoarelor tubulare este recomandată numai în medii necontaminate, unde atmosfera înconjurătoare nu conţine praf, săruri, gaze corozive sau inflamabile, unde temperatura mediului ambiant nu depăşeşte $\pm 40\,°C$ şi unde altitudinea locului de montaj nu depăşeşte 1000 m.

Montarea descărcătoarelor tubulare se face prin suspendarea lor de conductorul liniei cu ajutorul unei brăţări fixată la borna superioară a descărcătorului. Montarea trebuie să se facă astfel încît să nu se producă creşterea săgeţii conductorului liniei sau să se favorizeze pendularea conductorului sub acţiunea vîntului. Legarea la pămînt a descărcătorului se face printr-un conductor de cupru cu o secţiune de minimum 25 mm^2.

Măsurarea spaţiilor disruptive şi a diametrului interior al tubului gazogen este obligatorie la punerea în funcţiune şi la revizia liniilor electrice, precum şi odată pe an înaintea sezonului de descărcări atmosferice. În tabelul 5.8 se indică valorile spaţiilor disruptive şi ale diametrului interior ale descărcătoarelor tubulare tip DTF (româneşti) şi RT (sovietice) utilizate în instalaţiile din ţară noastră. Descărcătoarele tubulare al căror diametru interior a crescut cu mai mult de 40% din valoarea nominală a diametrului interior trebuie scoase din funcţiune.

Integritatea pieselor, starea de curăţire, rigidizarea elementelor, calitatea legăturii la pămînt etc. trebuie verificate în exploatare la toate controalele ce se execută cu instalaţia scoasă de sub tensiune.

Tabelul 5.8

Valorile intervalurilor disruptive şi a diametrului interior ale descărcătoarelor tubulare tip DTF şi RT

U_n [kV]	Limitele curentului de rupere [kA]	Diametrul interior		Intervalul disruptiv interior [mm]	Intervalul disruptiv exterior [mm]
		D_{nom} [mm]	$D_{max} - 1{,}4\ D_{nom}$ [mm]		
3	0,2...1,5	8	11	40	5... 10
6	0,3...7	10	14	130	8... 15
	1,5...10	10	14	80	
10	0,5...7	10	14	130	20
15	0,4...6	8	11	125	
25	0,4...3	8	11	140	
35	0,4...3	8	11	175	60...100
	0,8...5	10	14	175	
	0,6...10	12	17	140	
8	0,4...2,2	8	11	300	175
	0,8...5	16	22	350	
	1,2...7	16	22	300	
110	0,4...2,2	8	11	300	250...350
	0,8...5	16	22	350	
	1,2...7	16	22	300	300...350
	2...10	20	28	250	

Caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tubulare de fabricaţie românească sînt date în tabelul 5.9.

Simbolizarea descărcătoarelor tubulare de fabricaţie autohtonă este următoarea: D — descărcător, T — tubular, F — cu tubul gazogenerator din fibră.

Avantajele descărcătoarelor tubulare sînt următoarele:

— funcţionare sigură în limite de curent indicate;

— cost redus şi construcţie simplă.

Dezavantajele descărcătoarelor tubulare sînt:

— tensiunea de amorsare mare;

— influenţa uzurii tubului asupra capacităţii de trecere;

— pericolul de distrugere termică sau prin explozie a tubului;

— inerţia la stingerea curentului de însoţire;

— necesitatea zonei libere pentru expulzia gazelor ionizate din timpul funcţionării;

— necesitatea demontării şi revizuirii periodice.

În cele ce urmează se prezintă determinarea cantităţii de gaze degajate în tub în timpul funcţionării. Această determinare este necesară la proiectare pentru verificarea rezistenţei mecanice a descărcătorului.

Volumul materialului care se transformă în gaze este:

$$V_n = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)\, l,$$

Tabelul 5.9

Caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tubulare

Tipul descărcătorului	Tensiunea nominală [kV]	Valorile efective ale curenților limită de stingere kA		Lungimea spațiilor disruptive [mm]		Tensiunea de amorsare a descărcătorului				Diametrul interior al tubului de fibră [mm]
						Valoarea efectivă la 50 Hz [kV]		Valoarea de vîrf la impuls 1,2/50 μs		
		Minim	Maxim	interioare	exterioare	Stare uscată	Sub ploaie	Polaritate +	Polaritate −	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DTF−6/03−7	6	0,3	7	130	8	42	39	61	61	10
					15			80	80	
DTF−6/1,5−10	6	1,5	10	80	8	—	—	55	55	10
								68	68	10
DTF−10/05−7	10	0,5	7	130	20	43	40	80	80	8
DTF−10/04−6	15	0,4	6	125	20	40	60	57	100	
DTF−20/08−6	20	0,8	6	120	50	—	—	140	140	10
DTF−25/04−3	25	0,4	3	140	50	—	—	—	—	8
DTF−35/04−3	35	0,4	3	175	60	85	63	145	150	8
					100	105	83	190	109	
DTF−35/08−5	35	0,8	5	175	60	97	61	165	160	
					100	105	73	195	195	10
DTF−35/08−10	35	1,8	10	140	60	83	73	140	140	
					100	96	82	170	170	12
DTF−60/04−22	60	0,4	2,2	200	175	—	—	—	—	8
DTF−60/08−5	60	0,8	5	350	175	—	—	—	—	16
DTF−60/12−7	60	1,2	7	300	175	—	—	—	—	16
DTF−110/04−2,2	110	0,4	2,2	300	250	184	155	366	380	
					350	213	200	410	455	8
DTF−110/08−5	110	0,8	5	350	250	212	168	365	400	
					350	260	198	420	460	16
DTF−110/1,2−7	110	1,2	7	300	250	185	155	366	380	
					350	214	202	410	455	16
DTF−110/2−10	110	2	10	250	350	—	—	380	430	20

în care: D_1 este diametrul înainte de funcționarea descărcătorului, în cm;

D_2 — diametrul tubului după un număr n de funcționări ale descărcătorului, în cm;

l — lungimea spațiului interior de descărcare, în cm.

Greutatea materialului transformat în gaze este dată de relația:

$$G_n = V_n g, \quad [\mathrm{N}]$$

în care g este greutatea specifică a materialului, în N/cm³.

Greutatea materialului transformat în gaze la o descărcare:

$$G_1 = \frac{G_n}{n} = \frac{V_n g}{n}.$$

De exemplu, un gram de sticlă organică degajă 2080 cm³ de gaze la presiunea atmosferică și la temperatura de +20 °C. Deci volumul de gaze degajate de sticla organică la o descărcare:

$$V_g = 2080\, G_1 \cdot [\mathrm{cm}^3]$$

Presiunea gazului în tub se poate determina cu formula

$$p = \frac{1}{200}\frac{G_g^2 V_1}{KS^2 t^2}, \quad [\mathrm{N/cm^2}]$$

în care: G_g este greutatea gazelor degajate la o descărcare, în N;

V_1 — volumul unui kilogram de gaze la temperatura din interiorul tubului, în $\mathrm{cm^3}$;

S — secţiunea orificiului de evacuare, în $\mathrm{cm^2}$;

t — timpul de formare a unei cantităţi G_g de gaze sau durata de ardere a arcului, în s;

K — coeficient care depinde de natura gazului.

5.2.4. Descărcătoare cu rezistenţă variabilă

Descărcătorul cu rezistenţă variabilă trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

a. tensiunea de amorsare la undele de impuls să fie cît mai mică posibil, totdeauna inferioară tensiunii de ţinere la undele de impuls a aparatelor pe care trebuie să le protejeze;

b. capacitatea de scurgere trebuie să fie mare şi tensiunea reziduală mică. Aceasta presupune ca descărcătorul să aibă o rezistenţă foarte mică, cînd supratensiunea are amplitudine mare;

c. după dispariţia tensiunii, descărcătorul trebuie să înceteze să funcţioneze după prima trecere prin zero a curentului de frecvenţă industrială, ceea ce înseamnă că descărcătorul trebuie să posede o rezistenţă ridicată la frecvenţă industrială (condiţiile contradictorii de la punctele *b* şi *c* sînt satisfăcute prin întrebuinţarea rezistenţelor neliniare);

d. descărcătorul trebuie să funcţioneze fără revizii un anumit timp.

Construcţia unui descărcător cu rezistenţă variabilă şi schema de principiu sînt prezentate în figura 5.18.

Partea activă a descărcătorului este formată din discuri de eclatoare *1* şi rezistenţe variabile neliniare *3* realizate din discuri din rezorbit, vilit etc., conectate în serie. Aceste elemente exercită următoarele funcţii:

a. eclatoarele lasă să treacă curentul imediat ce supratensiunea atinge valoarea de amorsare şi întrerup curentul de însoţire furnizat de reţea după procesul de descărcare;

b. rezistenţa neliniară *3* contribuie la reducerea curentului de însoţire, astfel ca el să fie întrerupt în mod sigur, neopunînd în acelaşi timp decît o rezistenţă slabă la trecerea curentului de descărcare, întrucît valoarea ei descreşte cu creşterea tensiunii.

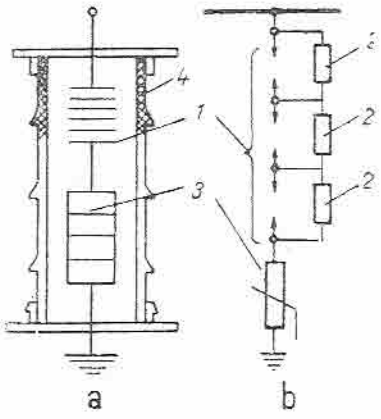


Fig. 5.18

Discurile de eclatoare sînt montate sub formă de coloană. Fiecare eclator este format din doi electrozi de alamă. Distanța disruptivă dintre electrozi este reglată în fabricație, astfel încît valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare să fie aproximativ de 3—6 kV pe fiecare eclator. Cei doi electrozi sînt rigidizați printr-o piesă specială confecționată din titanat de bariu (material cu permitivitate relativă mare $\varepsilon_r \geqslant 3000$). Rolul acestor piese este de a menține în jurul eclatoarelor o stare de preionizare ceea ce favorizează amorsarea rapidă a descărcătorului.

Rezistențele de șuntare *2* (fig. 5.18, *b*) au rolul de a uniformiza repartiția cîmpului electric pe eclatoare și deci de a ușura condițiile de stingere ale arcului. De asemenea, rezistențele de șuntare măresc siguranța în exploatare a descărcătorului prin evitarea amorsării la tensiunea de serviciu.

Anvelopa de porțelan *4* (fig. 5.18, *a*) protejează eclatoarele și rezistențele variabile de acțiunea factorilor atmosferici. Această anvelopă este construită etanș, perfect uscată. După montarea pieselor active ale descărcătorului, în anvelopă se introduc substanțe higroscopice (clorură de calciu) sau azot uscat la presiune atmosferică. Pentru a se evita spargerea carcasei de porțelan se prevede o supa părealizată, în general, dintr-o membrană elastică.

Descărcătorul are caracteristica unei supape. Atunci cînd o undă de supratensiune atmosferică sau o supratensiune de comutație depășește tensiunea de amorsare, se produce o străpungere a intervalului de amorsare al eclatoarelor, iar unda se descarcă prin elementul conductor de tip ventil. În general, aceste descărcătoare sînt de tip *modul*, adică sînt formate din elemente pentru o anumită tensiune cărora le corespunde o anumită rezistență și un anumit număr de eclatoare.

Caracteristica tensiune — curent a rezistenței variabile pentru temperatură constantă poate fi exprimată prin expresia:

$$u = Ci^{\alpha},$$

în care: u este valoarea instantanee a tensiunii aplicate rezistenței [V];

C — constantă a materialului cuprinsă între limitele 650... 750 [$\Omega A^{1-\alpha}$];

i — valoarea instantanee a curentului ce trece prin rezistență [A];

α — coeficient de neliniaritate, cuprins între 0,16 și 0,32.

La baza construcției rezistențelor neliniare stă carborundul. Neliniaritatea rezistenței carborundului se explică prin existența pe suprafața fiecărui cristal de carborund a unui strat subțire de oxid de siliciu, care are proprietatea de a-și schimba rezistența electrică în funcție de gradientul tensiunii. Pe cristalul elementar al carborundului, pentru tensiuni de la cîteva zecimi de volt pînă la cîțiva volți, intensitatea cîmpului electric pe stratul subțire are valori de ordinul $10^3 \ldots 10^4$ V/cm și mai mult. Un astfel de gradient al tensiunii este suficient pentru a mări conductivitatea stratului. Această creștere are loc ca o consecință a măririi mobilității și a concentrației electronilor din stratul de oxid. Tensiunea aplicată pe cristal se repartizează între stratul de oxid și însuși carborundul propriu-zis. Valoarea tensiunii care revine stratului de oxid depinde de raportul dintre rezistența stratului de oxid și cea a carborundului propriu-zis. Pentru ca tensiunea care revine

stratului să fie cu mult mai mare decît tensiunea care revine carborundului, este necesar ca rezistența stratului, pentru un curent dat, să fie cu mult mai mare decît rezistența carborundului. Carborundul electrotehnic de calitate este acela care are un strat subțire de oxid cu o rezistență neliniară mare și o conductivitate mare a carborundului propriu-zis.

Valoarea maximă a curentului pe care îl poate suporta discul fără să se deterioreze nu poate fi determinată în mod exact. La rezorbit, ca și la materialele semiconductoare, coeficientul termic al rezistenței este negativ. Rezultă că, în cazul degajării unei cantități mari de energie fără o suficientă disipare a acesteia, are loc o creștere continuă a curentului, urmată de o străpungere termică. De aceea, capacitatea de scurgere a rezistențelor are valori diferite pentru curenții de impuls și pentru curenții de frecvență industrială. Durata curenților de impuls este de zeci și sute de microsecunde, iar durata curenților de frecvență industrială — de sutimi de secundă.

În timpul funcționării, prin descărcător trec următorii curenți electrici.

1. Curentul de undă de supratensiuni atmosferice care se caracterizează printr-o amplitudine ridicată și durată redusă. Acest curent depinde în primul rînd de amplasarea descărcătorului față de aparatajul protejat și de constantele sistemului. Curentul cel mai mare apare în cazul cînd lovitura de trăsnet se produce lîngă descărcător, datele statistice arătînd totuși că el depășește rareori 100 kA. În figura 5.19 este arătată distribuția curentului de trăsnet (lovitură directă) în cazul liniilor electrice de foarte înaltă tensiune.

Tensiunea reziduală, corespunzătoare curentului maxim care poate apare la un moment dat, trebuie să fie mai mică cu 10—15% decît nivelul de ținere a izolației.

2. Curentul de supratensiuni de comutație apare atunci cînd o supratensiune tranzitorie produsă de un dezechilibru determină amorsarea unui descărcător.

Aceste supratensiuni diferă de undele de supratensiune atmosferice, prin aceea că au o amplitudine mai mică și o durată mai mare. Sursa de energie este chiar sistemul. De aceea, la bornele descărcătoarelor, o undă de supratensiune de comutație apare întotdeauna ca o undă călătoare. Energia pe care trebuie să o disipeze descărcătorul după amorsare este înmagazinată în capacitatea sistemului.

Stabilitatea termică a descărcătoarelor este definită prin mărimea și durata curentului dat de supratensiunea de comutație. De fapt, această definire nu este completă deoarece pentru a compara în condiții egale două sau mai multe tipuri de descărcătoare trebuie cunoscute curentul, tensiunea reziduală și durata.

Stabilitatea termică este o măsură a capacității de absorbție de căldură sau energie a blocului de rezistențe al descărcătorului. În timpul unor unde de supratensiune de lungă durată, blocul trebuie să reziste la scurgerea întregii energii fără să se deterioreze. Energia, în Ws se poate calcula din următoarea relație:

$$W = U_r i_a t,$$

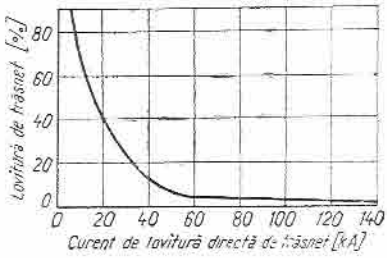


Fig. 5.19

în care: U_{rz} este tensiunea reziduală, în V;
i_a — curentul prin descărcător, în A;
t — timpul, în s.

Dacă în timpul descărcării în anumite condiții, toate descărcătoarele ar produce aceeași tensiune reziduală și curent, absorbția de energie ar fi egală, deoarece t este o funcție numai de lungimea liniei. Totuși la două tipuri de descărcătoare puse în aceleași condiții, adică aceeași tensiune de undă și aceeași impedanță de undă, curenții pot diferi cu pînă la 70%. De aceea, stabilitatea nu poate fi exprimată numai în funcție de curent.

O măsură reală a stabilității termice a descărcătorului se poate obține numai prin determinarea valorilor în Ws/kV pentru descărcătorul respectiv. Aceste valori se pot compara cu energia acumulată în linie în condiții date de o supratensiune de comutație maximă, pentru a se stabili dacă descărcătorul este potrivit pentru cazul special considerat. Acest procedeu este asemănător cu cel folosit la verificarea puterii de rupere a întreruptorului față de puterea de scurtcircuit a sistemului.

3. Curentul de însoțire, este un curent de valoare relativ redusă, care circulă prin descărcător, după disiparea prin acesta a energiei undei de supratensiune. Descărcătorul constituie în acel moment o cale de curent și trebuie să întrerupă rapid curentul care se scurge prin el datorită tensiunii nominale a rețelei și care este limitat de caracteristica neliniară a blocului de rezistențe. Impedanța limitatoare este de natura unei rezistențe pure, astfel încît curentul de însoțire este în fază cu tensiunea. În consecință nu există altă tensiune de revenire decît componenta de frecvență industrială. Mărimea curentului de însoțire depinde de caracteristicile blocului de rezistențe, de tipul descărcătorului și variază cu viteza de creștere a rigidității dielectrice a spațiului dintre electrozi, cu amplitudinea și durata curentului de descărcare.

În multe cazuri, după ce descărcătorul a amorsat nu există deloc curent de însoțire. Acest lucru se datorește caracteristicii neliniare a blocului de rezistențe și depinde de momentul apariției undei față de unda de tensiune de frecvență industrială. După cum se vede în figura 5.20 forma undei de curent obținută aplicînd o tensiune sinusoidală unui bloc de rezistențe de descărcător nu este sinusoidală, ci are o zonă alungită în care curentul este nul.

Dacă unda de supratensiune apare în această porțiune în care curentul este zero, nu va trece nici un curent de însoțire.

4. Curentul maxim garantat este valoarea efectivă a curentului pe care îl poate suporta scurt timp un descărcător fără a avea loc o explozie violentă a porțelanului acestuia. Mărimea curentului de defect depinde de aportul sistemului la defect, iar durata lui este funcție de reglajul protecției în sistem. Atunci cînd un descărcător se defectează, fiind un aparat ermetic închis apar presiuni interne foarte mari, datorită gazelor produse de arc, care sublimează materialul blocului de rezistențe. Această presiune trebuie redusă printr-o eva-

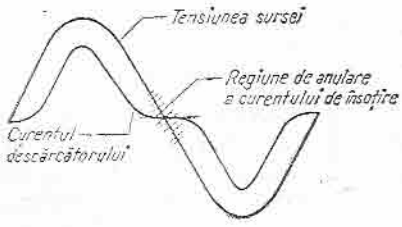


Fig. 5.20

cuare rapidă, în decurs de o jumătate de perioadă, deoarece în caz contrar porţelanul se distruge.

Singura impedanţă opusă de descărcător în caz de defect este rezistenţa arcului şi, în general, aceasta are o valoare neglijabilă. De aceea, mărimea curentului de defect este aceeaşi ca în cazul unei puneri la pămînt a liniei în acelaşi punct.

Trebuie să se considere curentul maxim garantat, în mod analog cu puterea de rupere a unui întreruptor : la locul de montaj al descărcătorului, curentul maxim de defect dat de sistem (valoarea efectivă), nu trebuie să depăşească curentul maxim garantat al elementului.

Deşi rolul de protecţie al unui descărcător poate fi definit în mod optim după tensiunea reziduală, cunoaşterea valorilor curenţilor prin descărcătoare dă o privire de ansamblu asupra caracteristicilor pe care trebuie să le posede un descărcător de înaltă tensiune pentru a-şi îndeplini în mod eficient rolul de protecţie.

5. Curentul de conductivitate al descărcătorului, denumit uneori curent de fugă, apare întotdeauna la orice descărcător. Acest curent de valoare redusă circulă în permanenţă, cînd descărcătorul se găseşte sub tensiune şi este determinat de rezistenţele care şuntează fiecare interval de amorsare.

Descărcătoarele moderne folosesc două tipuri de rezistenţă : una de *tip liniar* şi alta de *tip neliniar*.

Caracteristicile tensiune — curent ale acestor rezistenţe se prezintă în figura 5.21. Din curbe se vede că, la parametrii nominali, valorile caracteristice ale curentului de conductivitate sînt de 0,5 şi 2 mA, depinzînd de tipul de rezistenţă folosit.

Caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor româneşti cu rezistenţe variabile tip DRVS—6—110 kV sînt date în tabelul 5.10.

În figura 5.22 se face comparaţia între modul de funcţionare al descărcătorului tubular şi cel al descărcătorului cu rezistenţă variabilă.

Curba *a* ilustrează limitarea supratensiunii la valoarea tensiunii reziduale, la descărcătoarele cu rezistenţă variabilă. Pentru aceeaşi undă de supratensiune — descărcătorul tubular amorsează mai tîrziu şi taie unda (curba *b*).

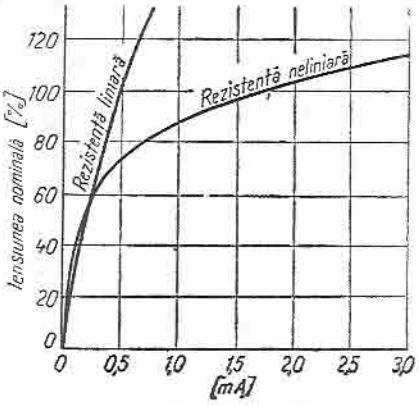


Fig. 5.21

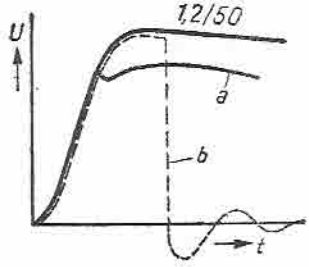


Fig. 5.22

Tabelul 5.10

Caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tip DRVS—16—110

Tipul descărcătorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea de serviciu admisă [kV]	Tensiunea de amorsare		Valoarea de vîrf a tensiunii reziduale, în kV la un curent de		Curentul de conductibilitate		Valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare pe frontul undei	
			Valoarea efectivă la 50 Hz [kV]	Valoarea de vîrf la impuls 1,2/50 μs [kV]	5000 A	80 A	Tensiunea aplicată în c.c. [kV]	Curentul de conductibilitate [μA]	Amplitudinea undei pline [kV]	Tensiunea maximă la care trebuie să amorseze [kV]
DRVS—6	6	7,6	16—18	30	30	10,7	6	400—600	62,6	36
DRVS—6 S	—	9	20—24	40	40	12,7	8	400—600	—	—
DRVS—10	10	12,8	26—30	47	47	18	10	400—600	107	56,5
DRVS—15	15	21	38—48	69	69	29,6	16	400—600	157	82,8
DRVS—20	20	25,5	48—60	84	84	36	20	400—600	202	101
DRVS—20 S	—	25,5	58—72	84	84	36	24	400—600	—	—
DRVS—25	25	30	58—72	99	99	42,3	Se aplică pe elemente componente		240	119
DRVS—35	35	42	76—96	138	138	59,2			332	166
DRVS—60	60	72	134—168	237	237	101,6			568	284
DRVS—110	110	102	232—288	336	336	114			806	403

5.2.5. Descărcătoare cu suflaj magnetic

Descărcătoarele cu suflaj magnetic au în plus față de descărcătoarele cu rezistențe variabile două bobine de suflaj (fig. 5.23).

Coloana de eclatoare E se termină la cele două capete cu cîte o bobină de suflaj BS. Bobina înfășoară o rezistență variabilă R, cu care este legată în paralel. Rezistența R servește ca un rezistor neinductiv pentru curenții de joasă frecvență.

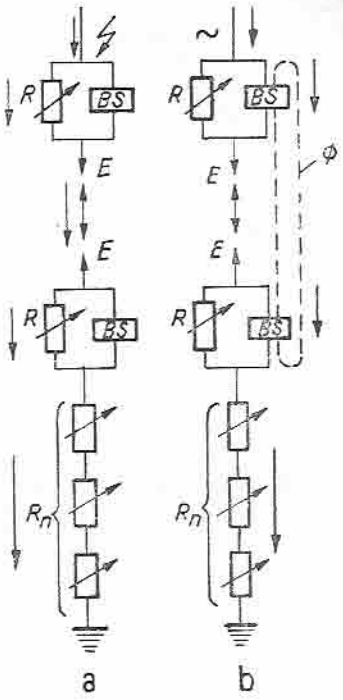


Fig. 5.23

La apariția undei de supratensiune, eclatoarele amorsează și curentul de impuls trece numai prin rezistențele neliniare R_n, șuntînd bobinele de suflaj (fig. 5.23, *a*). Arcul electric din spațiul disruptiv al eclatoarelor este scurt și deci căderea de tensiune din arc este mică. În timpul trecerii undei de impuls, pe măsură ce rezistența discurilor de rezistență variabilă crește, curentul va trece tot mai mult prin bobinele de suflaj, astfel încît curentul de însoțire va trece numai prin bobinele de suflaj. În acest caz se formează un puternic cîmp magnetic, ce întinde arcul electric dintre spațiile disruptive ale eclatoarelor. Prin întindere arcul electric se subțiază, se răcește și în final se stinge (cînd căderea de tensiune în arc va fi practic egală cu valoarea instantanee a tensiunii alternative de frecvență industrială.

În figura 5.24 se prezintă evoluția mărimilor electrice care intervin în funcționarea descărcătorului din momentul amorsării și pînă la întreruperea curentului de însoțire. Curenții și tensiunile sînt date la scări diferite. Scara a fost mărită pentru curentul de conductivitate i_S care trece prin rezistența S și atinge de obicei cîțiva miliamperi și redusă pentru curentul de descărcare care atinge cîțiva kiloamperi. Afară de aceasta, curbele tensiunii de șoc și a curentului de descărcare au fost mult extinse în timp.

Figurile 5.24 *b*, *c*, *d* și *e* corespund la patru momente ale procesului, separate de intervale de circa 3,5 ms. Liniile verticale stabilesc relațiile între aceste figuri și oscilogramă. Figura 5.24, *b* arată elementele descărcătorului. Eclatoarele sînt formate din doi electrozi introduși în camerele de stingere formate din discuri plate, distanțate unele de celelalte, dar formînd în realitate un pachet compact, avînd la fiecare extremitate cîte o bobină de suflaj magnetic. Figura 5.24, *b* arată situația normală a descărcătorului în serviciu. Curentul i_S trece prin rezistența S, montată în paralel cu eclatoarele, al cărei scop este de a repartiza tensiunea de frecvență industrială în mod uniform între toate eclatoarele descărcătorului. Figura 5.24, *c* prezintă procesul însuși de descărcare. Tensiunea de impuls atinge valoarea de amorsare și curentul de descărcare trece prin eclatoare, șuntînd bobinele de suflaj, a căror inductanță rămîne fără efect asupra procesului de descărcare.

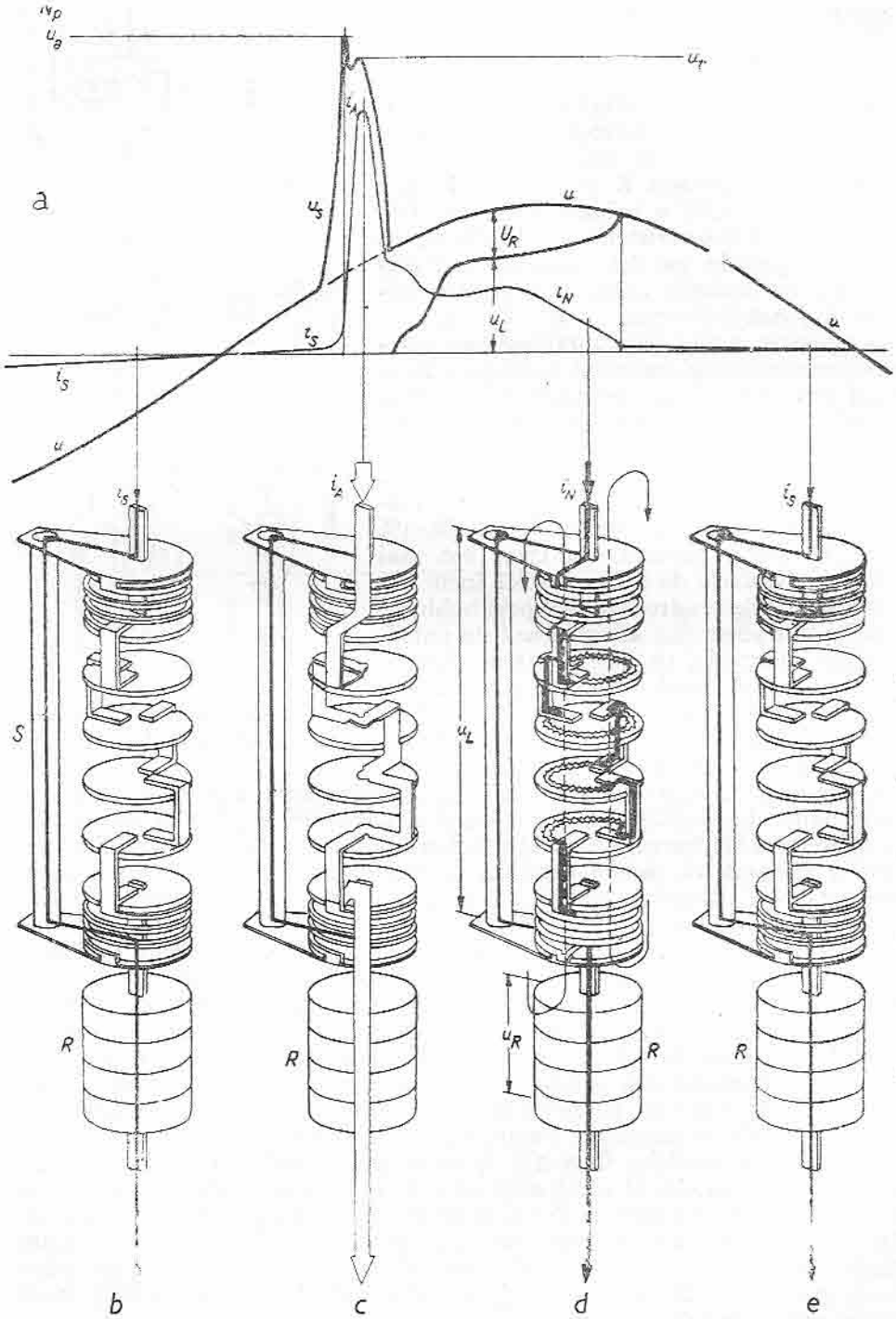


Fig. 5.24

Spațiile între electrozii eclatoarelor, intens ionizate de curentul de impuls, nu-și regăsesc rigiditatea dielectrică inițială la sfîrșitul descărcării. În cele mai multe cazuri, descărcarea este urmată de un curent de însoțire a cărui valoare este determinată de rezistența neliniară R și de tensiunea de serviciu. Figura 5.24, *d* se referă la această fază. Acum începe să se manifeste efectul bobinei de suflaj. Pe măsura micșorării curentului de descărcare, rezistența spațiului de arc dintre eclatoare crește și curentul de însoțire este forțat să treacă prin bobinele de suflaj, care produc un cîmp magnetic puternic, care traversează toate pachetele descărcătorului. În fiecare eclator, arcele sînt alungite și împinse spre marginile discurilor camerelor. Rezistența arcului astfel mărită contribuie la limitarea curentului de însoțire, care se întrerupe înainte de trecerea lui prin zero. Prin deplasarea arcului se evită arderea electrozilor în punctele de amorsare și în acest fel se asigură o tensiune de amorsare constantă.

În țara noastră, descărcătoarele cu suflaj magnetic se folosesc pentru protejarea instalațiilor electrice împotriva supratensiunilor în instalațiile cu tensiuni de ordinul 220 și 400 kV.

Protecția descărcătoarelor contra exploziilor. Descărcătoarele sînt actualmente prevăzute cu limitatoare de presiune pentru a se evita explozia în caz de supraîncărcare.

Descărcătoarele protejînd alte instalații, sînt ele însele supuse la solicitări care pot să le distrugă, de exemplu:

1. o linie cu tensiune nominală mai mare cade pe o altă cu tensiune nominală mai mică;
2. descărcări atmosferice foarte violente direct pe o linie.

Descărcătorul este, de asemenea, suprasolicitat cînd din diferite motive arcul electric nu se stinge. Electrozii și rezistența sa se încălzesc și pot apare traiectorii de arce electrice care degajă gaz ionizat care pătrunde între partea activă și izolator. Pot lua naștere amorsări locale care în cele mai multe cazuri determină apariția unui arc generalizat, întinzîndu-se pe toată lungimea descărcătorului.

Dacă descărcătorul este suprasolicitat izolatorul este slăbit de căldură și supus la o presiune mărită care poate duce la explozia lui înainte ca întreruptorul să întrerupă în cazul defectului de punere la pămînt.

Pentru a preveni astfel de accidente, izolatorul este protejat împotriva căldurii radiate de arc printr-un cilindru pus aproape de suprafața sa interioară, iar creșterile de presiune sînt limitate prin dispozitive de siguranță plasate la extremitățile izolatorului. Cilindrul de protecție este confecționat din preșpan sau din rășini sintetice întărite prin fibre de sticlă.

Ca limitator de presiune se folosesc supape formate din capace cu suprafață mare, menținute închise de un resort.

5.2.6. Reguli de montare, încercare și control tehnic în exploatare a descărcătoarelor cu rezistențe variabile

Descărcătoarele care sînt montate la o înălțime de cel puțin 2,5 m nu au nevoie să fie împrejmuite.

Distanța între părțile cele mai apropiate ale descărcătoarelor sau între descărcătoare și alte elemente ale stației, legate la pămînt sau sub tensiune, trebuie să corespundă datelor din tabelul 5.11.

Tabelul 5.11

Distanţele minime admisibile [mm] între descărcătoarele cu rezistenţă variabilă, între descărcătoare şi părţile staţiei sub tensiune sau legate la priza de pămînt şi între descărcătoare şi împrejmuire

Tensiunea nominală [kV]	3	6	10	15	20	25	35	60	110	154	220	400
Staţii interioare: Între descărcătoare şi între descărcătoare şi părţile sub tensiune sau părţile legate la priza de pămînt	75	100	125	180	180	290	230	800	800	—	—	—
De la descărcătoare pînă la îngrădirile masive	105	130	155	210	210	320	320	830	830	—	—	—
De la descărcătoare pînă la îngrădirile realizate din plasă	175	800	225	280	280	390	390	900	900	—	—	—
De la descărcătoare pînă la îngrădirile provizorii	500	500	500	700	700	800	800	1300	1300	—	—	—
Staţii exterioare: Între două descărcătoare şi între descărcătoare şi părţile sub tensiune sau părţile legate la priză de pămînt	200	200	200	250	300	400	400	600	1000	1400	2000	3400
De la descărcătoare pînă la îngrădirile realizate din plasă	250	250	250	250	300	400	400	600	1000	1400	2000	3400
De la descărcătoare la îngrădirile provizorii	950	950	950	1050	1050	1150	1150	1650	1650	2050	2550	3850

Descărcătoarele se montează numai în poziție verticală. În funcție de specificul constructiv al descărcătoarelor, acestea se montează pe un postament sau stelaj. Descărcătoarele pot fi montate și prin suspendare de o piesă specială fixată de flanșa superioară. Această operație se realizează numai cu recomandarea fabricii constructoare.

Descărcătoarele DRV de 110, 154 și 220 kV, pentru rețelele cu neutrul legat la pămînt, se montează printr-o articulație de bază și se fixează cu ancore izolante.

Legarea la instalații a descărcătoarelor de 20 kV și mai mult, montate în stații exterioare se realizează cu conductoare flexibile de cupru, aluminiu sau oțel. Conductoarele se vor monta slab tensionate, ca să fie exclusă posibilitatea aplicării unei forțe de tracțiune la flanșa superioară a descărcătoarelor. Săgeata conductoarelor trebuie să fie cît mai mică, pentru a nu se produce balansarea lor.

Descărcătoarele de 3—10 kV din stațiile exterioare, cît și descărcătoarele de alte tensiuni, montate în stații interioare, se conectează la instalații cu ajutorul barelor rigide de cupru sau aluminiu.

Pentru descărcătoarele DRV, valoarea componentei orizontale a forței pe flanșa superioară a descărcătoarelor nu trebuie să fie mai mare de 10—30 kg.

În funcție de condițiile locale, descărcătoarele se pot conecta, fie prin separatoare, fie direct.

Descărcătoarele trebuie să fie prevăzute cu contoare de funcționare care se pot monta, ori pe bara sub tensiune, ori pe bara de legătură la priza de pămînt a stației. Descărcătoarele se pot prevedea și cu dispozitive de măsură a curenților de impuls, care trec prin descărcătoare.

Descărcătoarele se vor lega la priza de pămînt a stației pe calea cea mai scurtă posibilă.

Înainte de montare, toate elementele descărcătoarelor se verifică cu atenție și în mod special părțile următoare.

1. *Suprafețele carcasei de porțelan* nu trebuie să prezinte glazura deteriorată, fisuri sau alte urme de lovituri. În special, se va verifica dacă carcasa de porțelan nu prezintă fisuri în zona de îmbinare cu flanșele.

2. *Suprafețele cimentului de fixare* a flanșelor la carcasa de porțelan trebuie să fie curate, netede, fără găuri sau crăpături.

3. *Piesele interioare* ale descărcătoarelor se verifică printr-o ușoară înclinare de circa 20—30° față de verticală și readucerea la verticală. Înclinarea se face cu rotirea descărcătorului în jurul axei. Prezența unor rostogoliri interioare sau a unor zgomote dovedește deteriorarea pieselor interioare ale descărcătorului.

Suprafața flanșei inferioare care vine în contact cu stelajul sau postamentul descărcătoarelor trebuie să fie orizontală și dreaptă.

După terminarea montajului descărcătorului, înainte de punerea sub tensiune se fac încercări electrice.

Așa cum au arătat statisticile de avarii, cauza principală care reduce siguranța de funcționare în exploatare a descărcătoarelor cu rezistență variabilă este pătrunderea umezelii în interiorul carcasei și în special în zona eclatoarelor.

Apariţia punţilor conductive care şuntează eclatoarele şi provoacă umezirea rezistenţelor de şuntare conduce la distribuirea neuniformă a tensiunii între eclatoare şi la refuzul de stingere a curentului de însoţire, ceea ce are ca urmare explozia descărcătorului.

În anumite situaţii, formarea punţilor conductive pot da naştere la explozii de descărcătoare, chiar la tensiunea nominală, fără vreo supratensiune.

Depunerea oxizilor pe electrozii eclatoarelor reduce distanţa între electrozii eclatoarelor (iar în unele cazuri scurtcircuitează o parte din eclatoare), ceea ce creează pericolul străpungerii lor la supratensiuni de comutaţie relativ mici sau chiar în timpul funcţionării la tensiunea normală a reţelei.

Umezeala pătrunsă la discurile de rezistenţă neliniară distruge metalizarea discurilor, iar în unele cazuri conduce la conturnări pe suprafaţa discurilor.

Umezirea rezistenţelor neliniare poate conduce la înrăutăţirea substanţială a caracteristicilor de protecţie şi anume la mărirea coeficientului de neliniaritate, respectiv la reducerea capacităţii de funcţionare.

Mai rar se întîlnesc alte feluri de defecte. De obicei este vorba de defecte de montaj la fabrica constructoare sau deteriorări din cauza transportului.

Efectuarea încercărilor înainte de aplicarea tensiunii reţelei, cît şi încercările periodice în timpul exploatării, permit detectarea din timp a defecţiunilor periculoase funcţionării normale a descărcătorului.

Criteriul de bază în aprecierea stării descărcătorului este măsurarea curentului de conductivitate (la descărcătoarele cu rezistenţe de şuntare) sau a curentului de fugă (la descărcătoare fără rezistenţe de şuntare), aplicînd o tensiune continuă.

Ca o măsură de verificare suplimentară se foloseşte măsurarea rezistenţei de izolaţie cu ajutorul megohmmetrului.

Mărirea curenţilor de conductivitate sau fugă atestă pătrunderea umezelii în descărcător.

Scăderea bruscă a curentului de conductivitate apare, de obicei, datorită întreruperii circuitului rezistenţelor de şuntare.

Rezultate importante privind starea descărcătorului se obţin prin măsurarea tensiunii de amorsare a eclatoarelor, aplicînd o tensiune înaltă de frecvenţă industrială sau de impuls.

Mărirea tensiunii de amorsare poate avea loc datorită deteriorării pieselor eclatoarelor, iar reducerea tensiunii de amorsare poate avea loc datorită, atît deteriorării eclatoarelor, cît şi datorită oxidării electrozilor.

Măsurarea tensiunii de amorsare la 50 Hz a descărcătoarelor cu eclatoare şuntate de rezistenţe, trebuie să se efectueze în aşa fel, încît timpul în care se aplică tensiunea înaltă să fie minim. În caz contrar se distrug rezistenţele de şuntare datorită creşterii curenţilor de conductivitate.

La descărcătoarele cu rezistenţe de şuntare cu caracteristici neliniare pronunţate, curenţii de conductivitate ating valori periculoase şi din această cauză se poate interzice încercarea, în condiţii de exploatare, cu tensiune mărită de frecvenţă industrială.

Pentru aprecierea stării descărcătoarelor după rezultatele încercărilor, este necesar să se analizeze toate rezultatele obținute și în special cele precedente.

Diferențe mici ale valorilor curenților și tensiunilor de amorsare ale eclatoarelor pot fi produse de o montare incorectă sau deteriorări interioare care nu deranjează funcționarea normală a descărcătoarelor; pe de altă parte, astfel de devieri provoacă suspiciuni asupra începerii unor procese de pătrundere a umezelii la eclatoare.

Este necesar să se îndrepte atenția asupra măsurărilor de conductivitate, ale căror rezultate pot fi foarte diferite, în funcție de starea atmosferei: pe timp secetos, curenții de conductivitate, respectiv cei de fugă, pot fi foarte mici, chiar dacă etanșeitatea nu mai este păstrată.

În cazuri îndoielnice, se recomandă să se repete măsurările, cel puțin măsurarea rezistenței cu megohmmetrul.

Se recomandă ca încercările să se facă la locul de montare a descărcătorului pentru ca acesta să nu se deterioreze la demontare și transport. Măsurarea curentului de conductivitate a eclatoarelor șuntate de rezistențe, se recomandă să se efectueze după verificarea tensiunii de amorsare; o astfel de succesiune a încercărilor permite evidențierea rezistențelor de șuntare defecte, apărute la încercarea cu tensiune de frecvență industrială.

Exploatarea descărcătoarelor cu rezistențe variabile este relativ simplă; periodic se execută controlul vizual al descărcătoarelor.

Controlul exterior vizual al descărcătoarelor din stațiile cu personal permanent se face de către personalul din tură cînd se verifică stația, după fiecare furtună cu descărcări atmosferice, cît și după apariția vreunei puneri la pămînt a unei faze în rețelele cu neutrul izolat.

Descărcătoarele de la stațiile fără personal permanent sau din alte puncte se controlează odată cu celelalte instalații electrice.

La controlul descărcătoarelor trebuie să se urmărească:

— starea carcaselor de porțelan (dacă sînt întregi sau cu fisuri);

— apariția urmelor de arc electric sau murdăriei pe carcasele de porțelan, în special, pe elementele cu eclatoare, unde produc o redistribuire a tensiunilor pe fiecare eclator;

— starea îmbinărilor cimentate și a vopselei cu care se acoperă aceste îmbinări;

— starea conductoarelor de conectare a descărcătoarelor;

— starea dispozitivelor de înregistrare a funcționării descărcătoarelor.

Dacă la aceste controale se descoperă deteriorări ale descărcătoarelor acestea se scot de sub tensiune și se verifică amănunțit.

În timpul iernii, descărcătoarele cu rezistență variabilă se deconectează de la rețea cu ajutorul separatoarelor sau dacă nu sînt separatoare, prin dezlegarea conductoarelor. Descărcătoarele pot rămîne pe locul unde sînt montate.

Capitolul VI

BOBINE DE REACTANȚĂ ȘI DE STINGERE

6.1. Bobine de reactanță

6.1.1. Considerații generale

Bobinele de reactanță sînt destinate să limiteze valoarea curenților de scurtcircuit în circuitele electrice de mare putere și să asigure menținerea tensiunii la valori admisibile pentru a permite funcționarea echipamentelor electrice în regim de avarie. Deși construcția bobinelor de reactanță este simplă, folosirea lor conduce la ridicarea costului instalației și la mărirea pierderilor de putere și de tensiune. Ele se construiesc, de regulă, fără miez de fier pentru a se obține o inductanță cît mai constantă.

Introducerea miezului de fier permite o micșorare a gabaritelor bobinelor. Prin asocierea cu o bobină de compensare este posibilă obținerea unei reactanțe mici în regimul normal de funcționare. Dezavantajul bobinelor de reactanță cu miez de fier constă în aceea că în caz de scutcircuit, cînd reactanța bobinei ar trebui să aibă cea mai mare valoare, intervine fenomenul de saturare a miezului.

Caracterizarea bobinei de reactanță se face, de obicei, cu ajutorul *reactanței relative*, care este o mărime adimensională și poate fi exprimată în procente.

$$x_* = 100\sqrt{3}I_n x/U_n,$$

în care: x_* este reactanța relativă, în %;

x — reactanța unei faze, în H;

I_n — curentul nominal, în A;

U_n — tensiunea nominală, în V

Deci, reactanța relativă reprezintă raportul dintre căderea de tensiune nominală prin bobină la trecerea curentului nominal și tensiunea pe fază nominală, exprimat în procente (dacă se neglijează rezistența activă a bobinei).

Pierderea de tensiune nominală în bobină ΔU, adică diferența între valorile efective ale tensiunii înainte și după bobină, depinde de factorul de putere al circuitului de la bornele aval ale bobinei. În figura 6.1, *a* se prezintă distribuția tensiunii în cazul montării unei bobine de reactanță în circuitul respectiv, iar în figura 6.1, *b* se dă diagrama fazorială necesară determinării pierderii de tensiune în bobină. Cu ajutorul diagramei fazoriale se

exprimă pierderea de tensiune în procente din tensiunea nominală pe fază cu relaţia:

$$\Delta U\% = 100\,\frac{\sqrt{U_n^2/3 + x^2 I_n^2 + 2xI_n \sin\varphi U_n/\sqrt{3}} - U_n/\sqrt{3}}{U_n/\sqrt{3}},$$

considerînd că tensiunea pe fază în aval de bobină este tensiunea nominală pe fază.

Pentru $\cos\varphi = 0$, deci $\sin\varphi = 1$ relaţia de mai sus devine:

$$\Delta U\% = 100\sqrt{3}xI_n/U_n = x_*,$$

adică pierderea de tensiune nominală este numeric egală cu căderea de tensiune nominală. Deoarece se poate considera că pentru $\cos\varphi = 1$ valorile pierderilor de tensiune, sînt aproximativ egale cu zero rezultă că, pierderile de tensiune vor varia în funcţie de valorile factorului de putere între zero şi x_*.

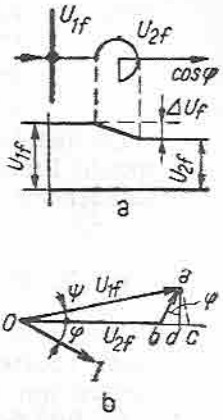


Fig. 6.1

În figura 6.2. sînt date curbele aproximative pentru determinarea valorii pierderii de tensiune în funcţie de factorul de putere al circuitului.

Reactanţa relativă a bobinelor de reactanţă montate în celulele de plecare în cablu nu depăşeşte, de obicei, valoarea 6—8%, iar a celor montate la barele colectoare —10——12%.

Reactanţa bobinei se alege astfel încît curentul de scurtcircuit să fie redus la valoarea dorită.

Valoarea efectivă iniţială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit trifazat după bobina de reactanţă, în ipoteza că alimentarea se face de la o sursă de putere infinită şi că se neglijează toate rezistenţele reţelei, în afară de reactanţa inductivă a bobinei, este:

$$I_{sc} = 100I_n/x_*.$$

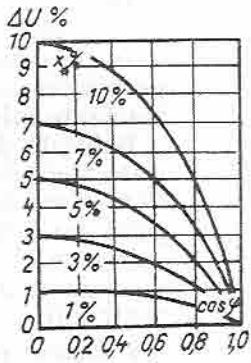


Fig. 6.2

Deci, pentru acelaşi curent nominal, cu cît reactanţa relativă va fi mai mare, cu atît capacitatea de limitare a curentului de scurtcircuit va fi mai bună.

După alegerea reactanţei relative a bobinei este necesar să se determine tensiunea reziduală în amonte, în cazul unui scurtcircuit în aval.

Păstrarea unei anumite valori a tensiunii reziduale permite menţinerea în funcţiune a consumatorilor.

Cu cît valoarea tensiunii reziduale este mai mare, cu atît scurtcircuitul va influenţa mai puţin funcţionarea consumatorilor de energie electrică alimentaţi prin liniile fără defect, conectate la aceleaşi bare colectoare.

În figura 6.3. se prezintă distribuţia tensiunii, în caz de scurtcircuit, pe porţiunea de la bare pînă la locul scurtcircuitului.

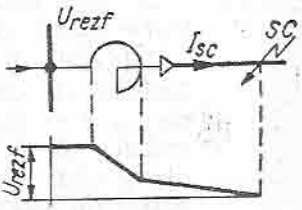


Fig. 6.3

Pentru un scurtcircuit care se produce pe linie, imediat după bobina de reactanţă, tensiunea reziduală la barele colectoare ale instalaţiei este egală cu căderea de tensiune din bobină.

$$U_{rez\,f} = I_{sc} x \quad \text{sau} \quad U_{rez\,f}\,[\%] = x_*\,[\%]\,\frac{I_{sc}}{I_n}.$$

La instalarea unei bobine de reactanţă trebuie să se tindă concomitent spre o limitare a curentului de scurtcircuit şi spre obţinerea unei valori suficiente a tensiunii reziduale la barele colectoare.

6.1.2. Variante de execuţie, caracteristici tehnice

Pentru tensiuni pînă la 35 kV, cele mai indicate sînt bobinele de reactanţă uscate. Aceste bobine sînt răcite cu aer şi sînt destinate în special pentru montarea în instalaţii interioare.

În funcţie de materialul izolant folosit pentru rigidizarea bobinajului împotriva eforturilor electrodinamice se deosebesc bobine: în beton, în lemn, în sticlă organică, în răşini.

Pentru tensiuni de 6—10 kV, cele mai indicate sînt bobinele de reactanţă cu sectoare de beton.

În funcţie de tipul bobinajului se deosebesc bobine din cabluri sau bobine în formă de disc.

În ţara noastră se construiesc bobine de reactanţă în beton de tipul BR pentru tensiuni de 6,10 şi 15 kV şi curenţi de 100 pînă la 2 × 2000 A, cu reactanţe relative de 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 10%, 2 × 8% şi 2 × 10%.

Bobinele de reactanţă se execută în construcţie monofazată. Bobinele celor trei faze pot fi montate, atît vertical, cît şi orizontal. În figura 6.4 se prezintă amplasarea pe verticală a fazelor *R*, *S* şi *T*. Fiecare fază se compune din înfăşurarea *1*, coloanele de beton *2*, izolatoarele suport *3* şi bornele de racord (fig. 6.4).

În figura 6.5 se prezintă o secţiune printr-o bobină de reactanţă în beton pentru 10 kV, 600 A.

Înfăşurarea se realizează din conductoare flexibile multifilare izolate cu hîrtie şi acoperite cu o ţesătură din bumbac. Între spire se lasă spaţii libere pentru a permite accesul aerului de răcire. În funcţie de valoarea curentului nominal înfăşurarea se execută din una sau mai multe căi de curent în paralel.

În cazul mai multor căi de curent în paralel este necesar să se efectueze transpunerea lor astfel încît să se evite curenţii de circulaţie.

Coloanele de beton *2* sînt singurele elemente care fixează înfăşurarea. Izolatoarele suport *3* sînt de tipul SBI—10 sau SBI—15, iar bornele de racord *4* se confecţionează din material metalic neferos. Poziţia bornelor trebuie să fie astfel aleasă, încît legăturile electrice să se facă simplu şi clar, în vederea evitării avariilor, dintre care multe se produc pe barele de legătură. Din acest punct de vedere, prezintă anumite avantaje bobinele cu borne interioare.

Bobinele de reactanţă în beton prezintă ca dezavantaje: tehnologie complicată de prelucrare şi de uscare, greutate şi dimensiuni de gabarit

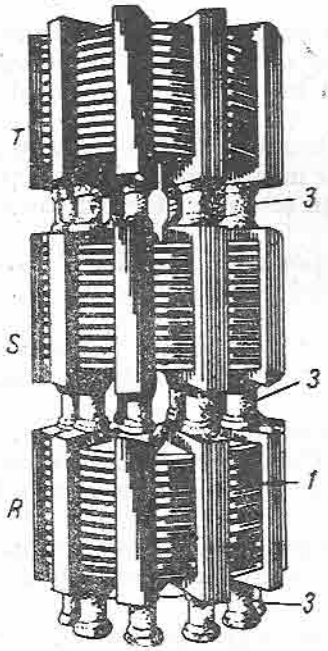


Fig. 6.4

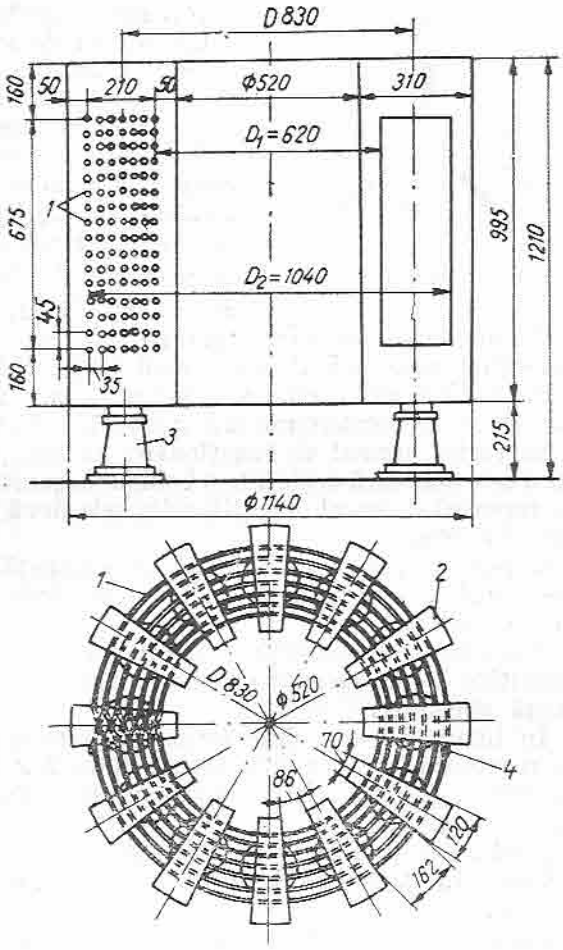


Fig. 6.5

apreciabile. În acest sens se impune înlocuirea betonului cu alte materiale sintetice.

În ultimul timp, la uzinele Electroputere Craiova, s-au realizat bobine de reactanţă tip modul, pentru tensiunea de 10 kV, la care înfăşurarea se realizează din folie de cupru rulată împreună cu straturi de hîrtie lăcuită sau ţesătură de sticlă şi turnată în răşini sintetice.

Consolidarea se face prin turnarea în răşină Dinox 110 după ce în interiorul şi exteriorul bobinei a fost rulată o pînză de sticlă.

Acest tip de bobină prezintă o reducere sensibilă a greutăţii şi gabaritelor faţă de tipul în beton, un consum mai redus de cupru şi o rezistenţă mecanică mult mărită.

În ultimul timp s-au realizat bobine de reactanţă secţionate (cu priză mediană) care se caracterizează prin căderi de tensiune mici şi o capacitate sporită de limitare a curenţilor de scurtcircuit.

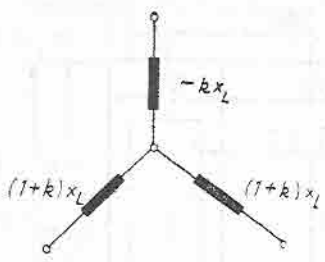


Fig. 6.6

Mărimile caracteristice ale bobinelor de reactanţă secţionate sînt:

— reactanţa proprie a fiecărei ramuri x_L;

— reactanţa mutuală x_M;

— curentul nominal al unei secţii I_n.

Raportul din reactanţa mutuală şi reactanţa proprie a unei secţiuni se numeşte *coeficient de legătură* $k = x_M/x_L$ şi are valori cuprinse între 0,3 şi 0,5. Reactanţele relative în procente ale bobinei vor fi deci: $x_{*M} = 100\sqrt{3}x_M I_n/U_n$ şi $x_{*L} = 100\sqrt{3}x_L I_n/U_n$.

Conductorul care face legătura la priza mediană se calculează la suma curenţilor nominali ai celor două secţii. Schema echivalentă corespunzătoare bobinei de reactanţă secţionate şi care se ia în considerare la calculul curenţilor de scurtcircuit este indicată în figura 6.6.

În regim normal de funcţionare, căderea de tensiune în bobina secţionată este mai mică decît într-o bobină obişnuită. Se menţionează că în funcţie de raportul şi sensul curenţilor din cele două secţii se obţin căderi de tensiune diferite.

O particularitate a bobinelor de reactanţă secţionate o constituie mărimea tensiunii reziduale la una din borne atunci cînd la cealaltă bornă există un scurtcircuit.

Tehnologia de execuţie a bobinelor de reactanţă secţionate, precum şi condiţiile lor de montaj sînt asemănătoare cu cele pentru bobine de reactanţă obişnuite.

În figura 6.7 sînt date forma şi dimensiunile de gabarit ale bobinelor de reactanţă în beton BR 15 kV, 100—2 × 2 000 A, 3—10% cu indicarea cotelor de gabarit atît în montaj vertical (fig. 6.7, *a*), cît şi în montaj orizontal (fig. 6.7, *b*).

Pentru tensiuni mai mari de 35 kV se foloseşte uleiul drept izolant, bobinele fiind, de obicei, de tip exterior şi realizate similar cu transformatoarele.

Cufundat în ulei, bobinajul este protejat în mod sigur de umezeală, de praf etc. Existenţa uleiului permite micşorarea distanţelor de izolare şi mărirea densităţii de curent şi, în acest fel, reducerea dimensiunilor şi a greutăţii bobinelor de reactanţă. În afară de acesta, bobina de reactanţă cu izolaţie în ulei se poate instala aproape de piesele metalice ale clădirii, ceea ce nu se poate face cu bobinele de reactanţă uscate.

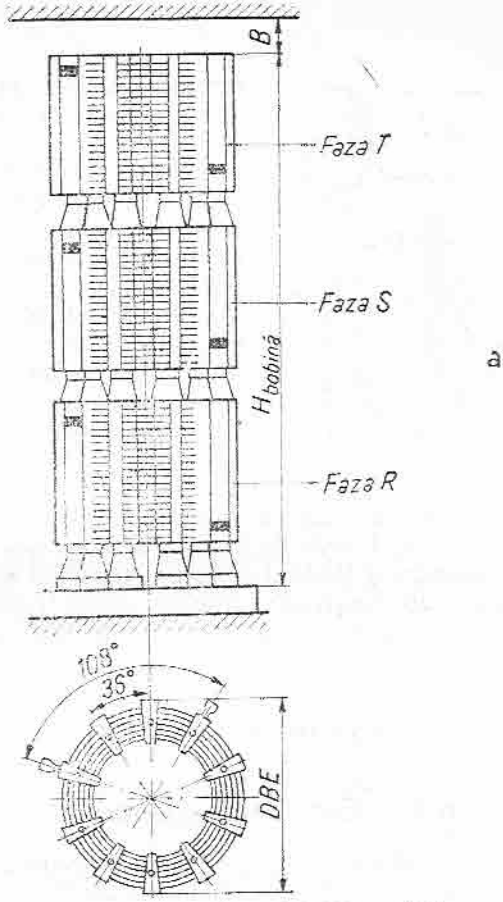
La bobinele de reactanţă cu cuvă metalică, fluxul magnetic este limitat de spaţiul ocupat de bobina de reactanţă şi, în mod practic, nu trece dincolo de pereţii cuvei. Dacă la bobinele de reactanţă cu ulei nu s-ar lua măsuri speciale pentru limitarea fluxului magnetic prin pereţii cuvei, atunci în aceştia s-ar produce pierderi relativ mari şi deci uleiul şi cuva s-ar încălzi mult.

Există două metode de limitare a fluxului magnetic care tinde să se închidă prin pereţii cuvei.

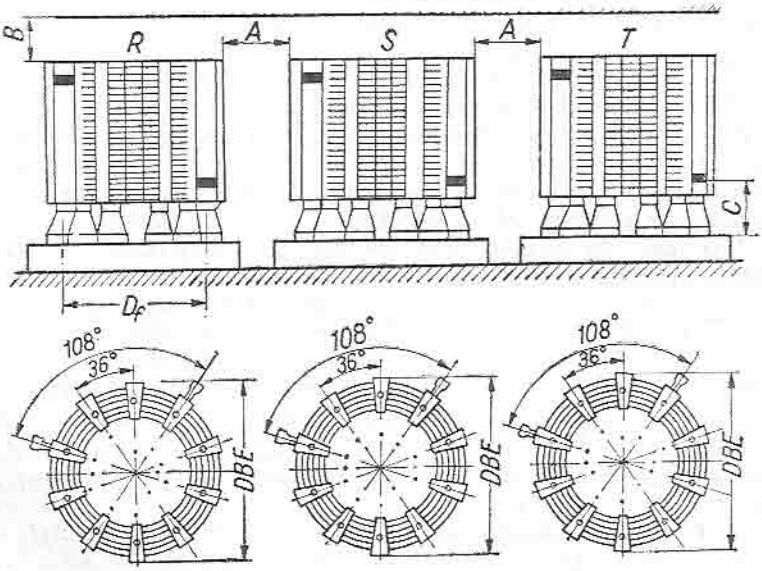
Prima metodă constă în montarea în interiorul cuvei a unui ecran inelar de cupru sau aluminiu, ecran fixat de pereţii cuvei. Fluxul magnetic al bobinei de reactanţă induce un curent electric, care la rîndul său dă naştere unui flux magnetic de sens contrar. Ca rezultat, prin pereţii cuvei

TIPUL BOBINEI	DF. Diametrul tuburilor de fundatie	DBE. Diametrul ext. al col. de beton
B.R.7 cond. pe rază	915	1025
B.R.8. cond. pe rază	995	1140
B.R.12 cond. pe rază	1135	1420

TENS. BOBINEI	Distanta în mm		
	A	B	C
B.R. 6 KV	463	413	285
B.R. 10 KV	580	515	285
B.R. 15 KV	700	650	325



a



b

Fig. 6.7

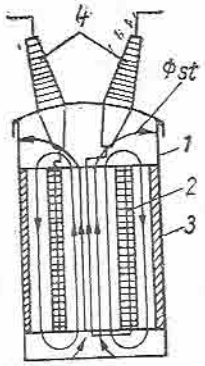


Fig. 6.8

circulă un flux neglijabil. Cu cît rezistența ecranului este mai mică, cu atît se obține o compensare mai bună.

Secțiunea printr-o bobină de reactanță în ulei prevăzut cu ecran electromagnetic este arătat în figura 6.8.

În această figură s-au notat cu *1* — cuva metalică, *2* — bobinajul, *3* — ecranul electromagnetic, *4* — izolatoarele de trecere, Φ_{st} — fluxul magnetic ce se închide prin cuvă.

A doua metodă constă în așezarea lîngă pereții cuvei pe partea ei interioară, a unor pachete din tablă de oțel, care formează armături magnetice pentru scurtcircuitarea fluxului magnetic.

Dezavantajul metodei șuntului magnetic este că, în caz de scurtcircuit, pachetele de oțel tind să se apropie de spirele bobinajului, astfel că este necesară o fixare mecanică bună a pachetelor, ceea ce complică construcția.

La bobinele de reactanță cu ecran electromagnetic, acesta este respins de spire și tinde deci să se întindă și să lipsească de pereții cuvei. Dacă ecranul are secțiunea circulară, cum se execută de obicei, atunci se poate obține o siguranță mecanică mare, fără mare dificultate.

6.2. Bobine de stingere

6.2.1. Considerații generale

Bobinele de stingere prin intermediul cărora poate fi tratat neutrul rețelelor de medie tensiune 6—35 (60) kV au rolul de a compensa curentul de punere la pămînt și deci de a ușura stingerea arcului electric la locul defectului.

În cazul apariției unei puneri la pămînt, curentul care apare prin această bobină, datorită creșterii potențialului neutrului transformatorului la care este racordată, se închide prin locul defectului. El fiind în opoziție de fază cu curentul capacitiv care circulă prin același loc, contribuie la reducerea acestuia la o valoare care să permită stingerea arcului electric. Schema de principiu a compensării este indicată în figura 6.9.

Bobinele de stingere sînt prevăzute cu dispozitive de reglaj care să permită variația inductanței lor, astfel încît valoarea curentului inductiv să fie cît mai apropiată de valoarea curentului capacitiv. Operația de reglare a curentului inductiv I_L pentru a-l egala cu curentul capacitiv I_C de punere la pămînt se numește *acordarea bobinei*.

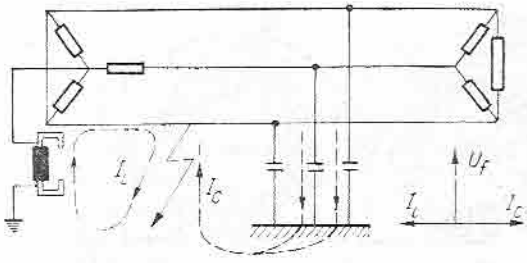


Fig. 6.9

Se definesc *gradul de dezacord* δ sau *de acord* k cu relațiile următoare:

$$\delta = (I_C - I_L)/I_C = 1 - k;$$

$$k = I_L/I_C.$$

În funcție de sistemul de reglaj al inductanței se deosebesc următoarele tipuri de bobine de stingere:

— cu ploturi reglabile (bobine Petersen cu reglaj în trepte);
— cu miezuri reglabile (reglaj continuu);
— cu magnetizare complimentară în curent continuu.

6.2.2. Variante de execuție, caracteristici tehnice

În țara noastră se execută primele două tipuri și anume BS—6,6/3,8—200 kVA și BS 6,3/3,6—370 kVA, precum și BS—RC $20/\sqrt{3}$—600 kVA.

Primele două tipuri de bobine de stingere se folosesc în rețelele de 6 kV și sînt cu reglaj în trepte. Bobina BS—RC—$20/\sqrt{3}$—600 kVA se folosește la tratarea neutrului în rețele cu tensiuni de 15—20 kV, pentru compensarea curenților capacitivi pînă la 50 A.

Această bobină se compune dintr-o înfășurare din cupru care se montează în jurul a două miezuri mobile. Miezurile și înfășurarea se amplasează într-o cuvă avînd toate anexele unei cuve de transformator. Reglajul continuu se asigură prin deplasarea în sus sau în jos a miezurilor cu ajutorul unui ax filetat antrenat de un motor prin intermediul unei roți melcate.

Bobinele de stingere se conectează la neutrul transformatoarelor sau generatoarelor prin intermediul separatoarelor. În cazul cînd neutrul nu este accesibil se folosește un transformator auxiliar de nul artificial care poate fi conectat la bare prin intermediul unui întreruptor. Transformatorul auxiliar nu trebuie să fie deconectat în timpul unei puneri la pămînt în rețea pentru ca să nu fie distrus de supratensiuni.

În paralel cu bobina de stingere se recomandă montarea unui descărcător cu rezistență variabilă, a cărui tensiune nominală să fie egală cu tensiunea nominală a rețelei. Montarea descărcătoarelor este necesară pentru protecția înfășurărilor generatorului sau transformatorului la al cărui neutru se conectează bobina de stingere.

6.3. Montarea, întreținerea și exploatarea bobinelor de reactanță și de stingere

Bobinele de reactanță se montează, în general, în celulele stațiilor de distribuție de tip interior, respectîndu-se distanțele de la bobină la perete, pardoseală și tavanul celulei indicate în figura 6.7 (pentru bobinele de reactanță de construcție românească tip BR). Pentru a se evita supraîncălzirile inadmisibile în caz de scurtcircuit (datorită curenților induși) pereții sau îngrădirile metalice din apropierea bobinelor de reactanță uscate vor avea îmbinări izolante, garnituri izolante etc.

În funcție de tipul bobinei și de spațiul disponibil, bobinele de reactanță uscate, pot fi montate orizontal sau vertical, avînd însă grijă ca întotdeauna bobina fazei din mijloc să aibă înfășurarea în sens invers față de sensul înfășurărilor bobinelor celorlalte două faze. Acest lucru este avantajos datorită faptului că forța maximă de interacțiune între faze va fi o forță de atracție care va acționa prin comprimarea izolatoarelor suport care asigură separarea fazelor una de alta (porțelanul rezistă mai bine la solicitarea la compresiune decît la tracțiune). Unghiul dintre bornele de intrare și de

ieşire este, de obicei, de 108° şi poate fi modificat la orice alt unghi multiplu de 36°.

După terminarea montajului se verifică cu multă atenţie calitatea racordurilor la bobine, integritatea izolatoarelor suport. Se măsoară apoi rezistenţa de izolaţie a înfăşurărilor cu megohmmetrul de 2500 V. Valoarea rezistenţei de izolaţie nu este normată, dar se consideră satisfăcătoare cînd valoarea ei depăşeşte 0,5 MΩ.

După aceste ultime verificări bobinele de reactanţă se pot pune în funcţiune.

În exploatare, bobinele de reactanţă în beton sînt sigure şi nu ridică probleme deosebite de întreţinere şi reparaţii. Este necesară însă supravegherea integrităţii suprafeţelor de beton şi controlul stării şi încălzirii îmbinărilor.

Montarea, întreţinerea şi exploatarea bobinelor de reactanţă cu ulei sînt asemănătoare cu cele valabile pentru transformatoarele de forţă, cu care au multe elemente comune. Acelaşi lucru se poate spune şi privind montarea bobinelor de stingere. Acestea trebuie amplasate astfel încît să se poată urmări uşor nivelul uleiului în conservator, indicaţiile termometrului, a releului de gaze.

De asemenea, montarea bobinelor de stingere trebuie să ţină seama de necesitatea asigurării accesului uşor la dispozitivul de comandă a comutării ploturilor şi la robinetul pentru luarea probelor de ulei.

Bara de nul, la care se conectează bobina de stingere, se montează cu respectarea distanţelor minime de izolaţie corespunzătoare tensiunii reţelei.

În cazul instalării bobinelor de stingere în aer liber se vor respecta următoarele:

— bobinele de stingere se vor monta pe fundaţii a căror înălţime deasupra solului să fie de minimum 10 cm;

— bobinele de stingere la care capacul cuvei se află la o înălţime mai mică de 2,5 m deasupra solului, se împrejmuiesc; înălţimea împrejmuirii trebuie să fie de cel puţin 1,7 m;

— ca şi la transformatoarele de putere, sub bobina de stingere se prevăd gropi de colectare a uleiului al căror volum să reprezinte minimum 20% din volumul uleiului conţinut în cuva bobinei de stingere;

— la montarea rigidă a conductoarelor de legătură, distanţele în linie dreaptă între conductoarele de legătură de la bobina de stingere la bara de nul şi celelalte părţi conductoare de curent sau legate la pămînt, trebuie să fie cel puţin egale cu cele indicate în tabelul 6.1; în cazul executării de legături flexibile, aceste distanţe trebuie majorate cu circa 50% spre a evita posibilitatea atingerii barelor sub influenţa vîntului, temperaturii sau chiciurii;

— separatorul, pentru conectarea bobinei de stingere la neutrul transformatorului, şi descărcătorul cu rezistenţa variabilă, se recomandă să se

Tabelul 6.1

Distanţe necesare la montarea bobinelor de stingere

Tensiunea, în kV	6 ... 10	15	25	35	60
Distanţa în linie dreaptă, în cm	20	25	35	40	60

monteze cît mai aproape de bobina şi stingere, pe suporţi special prevăzuţi.

Pentru bobinele de stingere montate în staţii de distribuţie de tip interior, condiţiile impuse la montaj sînt mai uşoare. Astfel, se admite montarea separatorului şi a transformatorului de curent în celula bobinei: bobinele de stingere conectate la nulul generatoarelor pot fi montate în celula de borne a generatorului; distanţele de la conductoarele de legătură la bobina de stingere şi alte părţi conductoare de curent sau legate la pămînt trebuie să fie de minimum 20 cm la tensiunea de pînă la 15 kV (pentru tensiune mai mare bobinele se montează de obicei în aer liber).

Distanţa de la cuva bobinei (cu puteri pînă la 1 000 kVA) trebuie să fie de cel puţin 60 cm pînă la pereţii laterali şi din spate şi de 80 cm pînă la uşa celulei. Pentru bobinele de puteri mari aceste distanţe se majorează pînă la 1...1,5 m

În celulele instalaţiilor de distribuţie care au ieşiri în coridorul de explozie, se admite instalarea bobinelor de stingere, cu o masă de ulei sub 600 kg fără a fi necesare dispozitive de colectare a uleiului. În cazul în care masa uleiului conţinut de cuvă depăşeşte 600 kg, bobinele de stingere se montează numai în celule amplasate la parterul clădirilor cu uşi ce se deschid în exterior, cu amenajări pentru colectarea uleiului (constînd cel puţin din adînciturі sau praguri în celule) capabile să asigure reţinerea întregii cantităţi de ulei, în caz de avarie. În asemenea situaţii se recomandă realizarea unei canalizări pentru evacuarea uleiului din celulă spre rezervorul de ulei de avarie amplasat departe (subteran) în exteriorul clădirii.

Înainte de punerea în funcţiune a bobinelor de stingere trebuie executate următoarele probe şi verificări:

— încercarea uleiului din cuvă, spre a vedea dacă corespunde normelor privind calitatea uleiului (ulei de transformator);

— măsurarea rezistenţei de izolaţie şi a coeficientului de absorbţie R_{60}/R_{15} a înfăşurărilor principale;

— încercarea izolaţiei înfăşurărilor faţă de masă cu tensiune alternativă mărită, la 50 Hz;

— măsurarea rezistenţei ohmice a înfăşurării principale şi a înfăşurării auxiliare; la bobinele de stingere cu reglaj în trepte, rezistenţa ohmică se măsoară pentru toate poziţiile comutatorului de ploturi;

— măsurarea reactanţelor pe toate treptele bobinei (la cele cu reglaj în trepte) sau pe diverse poziţii (la cele cu reglaj continuu).

Lucrările de întreţinere şi reparaţii la bobinele de stingere se execută în aceleaşi condiţii şi în aceleaşi intervale de timp ca şi pentru transformatoarele de putere. Controlul bobinei în exploatare se face cel puţin odată pe lună urmărindu-se etanşeitatea cuvei, nivelul uleiului, starea izolatoarelor, integritatea îngrădirilor şi a circuitelor etc.

Odată pe an, bobina de stingere se scoate de sub tensiune şi i se face o revizie curentă care constă din curăţirea izolatoarelor, cuvei, controlul legăturilor, controlul calităţii uleiului, verificarea circuitelor secundare etc.

Revizia capitală a bobinei, cu decuvarea miezurilor şi controlul detaliat al înfăşurărilor, jugurilor, ploturilor, îmbinărilor mecanice etc. se execută odată la zece ani. La revizie se execută toate probele prevăzute la punerea în funcţiune, inclusiv măsurarea pierderilor dielectrice (tg δ) a căror valoare nu trebuie să depăşească 2%.

Capitolul VII

TRANSFORMATOARE DE MĂSURĂ

7.1. Scopul și importanța transformatoarelor de măsură

Pentru o exploatare economică și sigură a sistemului energetic sînt necesare *aparate de măsurat*, cu care se măsoară mărimile electrice : curentul, tensiunea, puterea, energia, frecvența etc., *aparate de protecție*, care asigură o funcționare corectă într-un regim anormal sau de avarie din instalație, precum și *aparate de reglare automată*, care realizează reglarea tensiunii, frecvenței, comandă puneri în funcțiune etc.

Adaptarea sistemelor de măsurat, protecție și reglare la gama extrem de întinsă a valorilor curenților și tensiunilor dintr-un sistem energetic nu este justificată nici tehnic, nici economic.

Se impune deci soluția utilizării transformatoarelor de măsură care să transforme valorile curentului și tensiunii la valorile convenabile pentru alimentarea aparatelor de măsurat, de protecție și de reglare (100 sau 110 V, respectiv 5 sau 1 A). În acest fel, aparatele pot fi standardizate într-un număr limitat de tipuri, iar realizarea lor devine economică.

De asemenea, transformatoarelor de măsură izolează aparatele de măsurat, de protecție și de reglare de tensiunea înaltă, ceea ce asigură protecția aparatelor și securitatea personalului de deservire. În același timp, folosirea transformatoarelor de măsură îmbunătățește precizia de măsurare și permite funcționarea corectă a aparatelor, deoarece le scoate de sub acțiunea perturbatoare a cîmpurilor electromagnetice ale circuitelor principale ale sistemului electroenergetic.

Transformatoarele de măsură protejează aparatele montate în secundarul lor de acțiunile termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit din instalație.

Înfășurările secundare ale transformatoarelor de măsură se leagă la pămînt pentru securitatea personalului din exploatare și pentru prevenirea defectării aparatelor conectate la înfășurarea secundară în cazul străpungerii izolației dintre înfășurarea primară și secundară.

Domeniul principal de utilizare a transformatoarelor de măsură sînt instalațiile electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune. De asemenea, se folosesc și în instalațiile de joasă tensiune și în laboratoarele de încercări.

În funcție de parametrul a cărui valoare o reduc se deosebesc două mari categorii :

— transformatoare de curent ;
— transformatoare de tensiune.

Avînd în vedere că o serie de aparate de măsurat şi de protecţie sînt sensibile nu numai la valoarea mărimilor cu care se alimentează ci şi la sensul, respectiv defazajul fazorilor acestor mărimi, este necesar să se dea o atenţie deosebită modului în care se execută schemele de conexiuni ale transformatoarelor de măsură. Din acest motiv, bornele transformatoarelor de măsură sînt marcate după anumite reguli stabilite prin norme.

La transformatoarele de curent de fabricaţie românească, bornele înfăşurării primare sînt marcate cu literele L_1 şi L_2 sau P_1 şi P_2, iar bornele înfăşurării secundare cu literele l_1 şi l_2 sau S_2 şi D_2. Indicele *1* este folosit în ambele cazuri pentru a indica, în mod convenţional, începutul înfăşurărilor, iar indicele *2* — sfîrşitul înfăşurărilor. În cazul cînd transformatorul are mai multe înfăşurări secundare, înaintea literelor $l_1(S_1)$ şi $l_2(S_2)$ se scriu cifrele *1—4* în funcţie de numărul înfăşurărilor.

La transformatoarele de tensiune monofazate de fabricaţie românească, bornele înfăşurării primare sînt marcate cu literele mari *A* — pentru începutul înfăşurării şi *B*, *N*, sau *X* — pentru sfîrşitul înfăşurării. Bornele înfăşurărilor secundare sînt marcate cu literele mici *a* şi respectiv *b*, *n* sau *x*, completate cu cifrele *1* şi *2* în cazul transformatoarelor de tensiune cu două înfăşurări secundare. La transformatoarele de tensiune trifazate, marcarea bornelor este următoarea: *A*, *B*, *C*, *a*, *b*, *c* pentru începuturile înfăşurărilor şi *X*, *Y*, *Z*, *x*, *y*, *z* — pentru sfîrşiturile înfăşurărilor (literele mari — pentru înfăşurările primare, iar literele mici — pentru înfăşurările secundare). Bornele punctelor neutre sînt marcate cu *N*, respectiv *n*, iar bornele înfăşurării secundare auxiliare cu *a*, *x*, sau cu *da*, *dn*.

7.2. Transformatoare de curent

7.2.1. Consideraţii generale

Transformatoarele de curent alimentează sistemele de curent ale aparatelor de măsurat (indicatoare şi înregistratoare), ale aparatelor de protecţie şi de reglare. Înfăşurarea primară a transformatoarelor de curent este legată în *serie* cu circuitul al cărui curent se transformă în înfăşurarea secundară, conform schemei de principiu din figura 7.1.

Funcţionarea transformatoarelor de curent cu înfăşurarea secundară legată în scurtcircuit nu constituie o stare de defect ci, dimpotrivă, un regim de funcţionare foarte apropiat de o funcţionare ideală (în cazul cînd la o înfăşurare secundară nu se conectează nici un aparat, aceasta trebuie să fie legată în scurtcircuit şi nu trebuie să fie lăsată în gol nici chiar pentru un timp foarte scurt). Regimul de funcţionare cu înfăşurarea secundară în gol conduce la deteriorarea transformatorului datorită încălzirii lui excesive şi prezintă pericolul de electrocutare pentru personalul de exploatare datorită valorii periculoase a tensiunii care apare la bornele secundarului în acest caz.

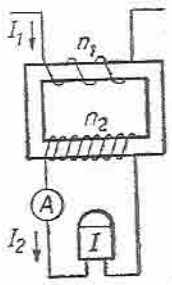


Fig. 7.1

Transformatoarele de curent prezintă erori de curent ε_i, erori de unghi δ_i şi erori compuse ε_c. Aceste erori sînt

determinate de construcţia şi calităţile tolelor de oţel ale circuitului magnet ic, de valoarea curentului primar şi de impedanţa circuitului secundar.

Eroarea de curent este definită prin relaţia:

$$\varepsilon_i = \frac{n_c I_2 - I_1}{I_1} \; 100[\%],$$

în care: $n_c = I_{1n}/I_{2n}$ este raportul de transformare nominal;

I_1, I_2 — curenţii primar şi secundar.

Eroarea de curent este diferenţa dintre valoarea curentului primar determinată prin măsurarea curentului secundar I_2 şi valoarea lui reală I_1, exprimată în procente din valoarea reală I_1.

Eroarea de unghi δ_i reprezintă defazajul dintre curentul primar şi curentul secundar, sensul acestora fiind astfel ales încît acest unghi să fie nul pentru un transformator ideal; eroarea de unghi se consideră pozitivă dacă fazorul curentului secundar este defazat înainte.

Eroarea compusă ε_c. Noţiunea de eroare compusă a fost introdusă pentru transformatoarele de curent destinate alimentării releelor. Se defineşte în regim permanent, ca valoarea efectivă a diferenţei dintre valorile instantanee ale curentului primar i_1 şi produsul dintre raportul de transformare nominal n_c şi valorile instantanee ale curentului secundar i_2, sensurile pozitive ale curenţilor primari şi secundari corespunzînd convenţiilor admise pentru marcajul bornelor.

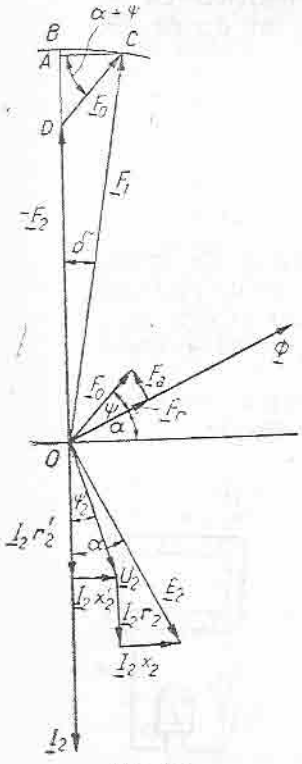


Fig. 7.2

Eroarea compusă este exprimată, în general, în procente din valoarea efectivă a curentului primar I_1, prin formula:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (n_c i_2 - i_1)^2 \, dt},$$

în care T este valoarea perioadei curenţilor.

În figura 7.2 se prezintă diagrama fazorială de funcţionare a unui transformator de curent. Semnificaţiile fazorilor care intervin în această diagramă sînt următoarele: $\underline{I}_2 r_2$ şi $\underline{I}_2 x_2$ ($\underline{I}_2 r_2'$ şi $\underline{I}_2 x_2'$) reprezintă căderile de tensiune în rezistenţa şi reactanţa înfăşurării aparatelor conectate în secundar (înfăşurării secundare a transformatorului), $\underline{E}_2$ este fazorul tensiunii electromotoare induse de fluxul magnetic Φ, $\underline{F}_0 = n_1 \underline{I}_0$ este tensiunea magnetomotoare corespunzătoare fluxului Φ, $\underline{F}_1$ şi $\underline{F}_2$ sînt tensiunile magnetomotoare din înfăşurările primară şi respectiv secundară.

Relaţia între curentul primar I_1 şi curentul secundar I_2 se exprimă prin expresia:

$$n_1 \underline{I}_1 = n_1 \underline{I}_0 - n_2 \underline{I}_2 \qquad (7.1)$$

sau

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 - \frac{n_2}{n_1} \underline{I}_2. \qquad (7.2)$$

Dacă se neglijează curentul de magnetizare, $I_0 \approx 0$, relația (7.2) devine:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}. \tag{7.3}$$

La transformatorul de curent ideal ($I_0 = 0$) unghiul de defazaj între fazorii $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_2$ este 180° (croarea de unghi este egală cu zero).

Numărul de spire secundar pentru care raportul numerelor de spire secundar și primar, este egal cu raportul nominal de transformare se notează cu n_{2n} (număr de spire secundar nominal):

$$\frac{n_{2n}}{n_1} = n_c.$$

Proiectînd relația (7.1) pe direcția fazorului $\underline{I}_2$ și pe o direcție perpendiculară pe fazorul $\underline{I}_2$ se obțin relațiile:

$$n_1 I_1 = n_1 I_0 \sin(\alpha + \psi) + n_2 I_2; \tag{7.4}$$

$$n_1 I_1 \delta_i = n_1 I_0 \cos(\alpha + \psi). \tag{7.5}$$

În relațiile (7.4) și (7.5) s-au aproximat $\cos \delta_i \simeq 1$ și $\sin \delta_i \approx \delta_i$, deoarece unghiul δ_i are valori sub 1°.

Din relația (7.4) se deduce:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} - \frac{I_0}{I_1}\frac{n_1}{n_2} \sin(\alpha + \psi). \tag{7.6}$$

Folosind relația (7.6) rezultă expresia erorii de curent:

$$\varepsilon_i[\%] = \left(\frac{n_{2n}}{n_1}\frac{I_2}{I_1} - 1\right)100;$$

$$\varepsilon_i[\%] = 100\left[-\frac{n_{2n}}{n_2}\frac{I_0}{I_1}\sin(\alpha + \psi) + \left(\frac{n_{2n}}{n_2} - 1\right)\right]. \tag{7.7}$$

Dacă: $n_{2n} = n_2$:

$$\varepsilon_i[\%] = -\frac{I_0}{I_1}\sin(\alpha + \psi)\,100. \tag{7.8}$$

Expresia erorii de unghi δ_i exprimată în minute sexagesimale este:

$$\delta_i['] = 3438\frac{I_0}{I_1}\cos(\alpha + \psi). \tag{7.9}$$

Din formulele (7.7), (7.8) și 7.9 rezultă că erorile cresc cu creșterea curentului de magnetizare I_0, care este proporțional cu căderea de tensiune de la bornele înfășurării secundare, care la rîndul ei depinde de numărul aparatelor conectate la secundar și de rezistența conductoarelor de legătură, adică de sarcina secundară. De asemenea, I_0 depinde și de reluctanța magnetică a miezului. Se impune deci realizarea circuitului magnetic din materiale cu permeanță magnetică cît mai mare, cu o lungime cît mai mică și cu o secțiune cît mai mare.

Erorile de curent depind de gradul de utilizare al transformatorului în exploatare, adică de raportul dintre curentul primar nominal și curentul

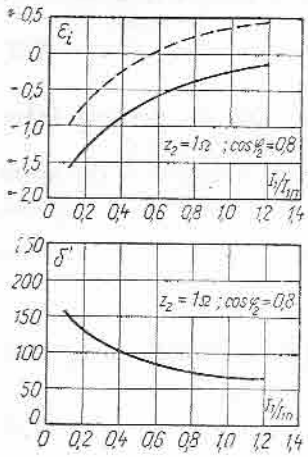


Fig. 7.3

primar. Dacă curentul primar reprezintă 10—20% din curentul primar nominal erorile de curent sînt mai mari decît în cazul în care $I_1 = 1 \div 1{,}2\, I_{1n}$. Dacă $I_1 > 1{,}2 I_{1n}$ erorile de curent cresc foarte mult datorită saturării miezului magnetic al transformatorului.

Deci, transformatoarele de curent destinate măsurărilor au domeniul de măsură normal pînă la $1{,}2\, I_{1n}$, însă pot fi construite şi pentru un domeniu de măsură lărgit, pînă la de două ori curentul primar nominal.

Din relaţia (7.7) se deduce o metodă pentru mărirea preciziei în funcţionare normală (0,1—1,2) I_{1n} şi anume *corecţia de înfăşurare*, adică micşorarea numărului de spire secundar la o valoare $n_2 < n_{2n}$.

În figura 7.3 sînt trasate curbele erorilor de curent şi de unghi ale transformatoarelor de curent pentru funcţionare normală; $z_2 = 1\Omega$ şi $\cos\varphi_2 = 0{,}8$.

Prin micşorarea numărului de spire secundar curba erorilor de curent se va deplasa în sensul valorilor pozitive lui $\varepsilon_i[\%]$ (curba trasată punctat).

Corecţia de înfăşurare prezentată este suficient de fină la transformatoarele de curent la care valoarea tensiunii magnetomotoare nominale este suficient de mare. Această corecţie nu duce la rezultate satisfăcătoare în cazul transformatoarelor de curent la care valoarea tensiunii magnetomotoare este mică, de exemplu, la transformatoarele de curent de tip bară, sau de trecere.

Erorile de curent şi de unghi mai pot fi corectate şi prin introducerea unei sarcini suplimentare în paralel cu sarcina secundară a transformatorului de curent.

În funcţie de natura sarcinii suplimentare (rezistivă, inductivă sau capacitivă, sau o combinaţie a lor) se poate corecta atît eroarea de curent cît şi eroarea de unghi.

Se poate ca îmbunătăţirea situaţiei în limitele erorii de unghi tolerate să înrăutăţească situaţia în limitele erorii de curent tolerate şi invers.

Un efect asemănător cu cel al sarcinii suplimentare îl are modificarea componentei reactive a impedanţei înfăşurării secundare, menţinînd neschimbată componenta rezistivă. Prin aceasta se schimbă unghiul ψ, a cărui mărire conduce la micşorarea erorii de unghi şi la creşterea erorii de curent. Componenta reactivă poate fi modificată prin modificarea aşezării spaţiale a înfăşurării, adică prin modificarea reactanţei de dispersie.

În tabelul 7.1 se indică erorile tolerate ale transformatoarelor de curent pentru diferite clase de precizie (0,1; 0.2; 0,5; 1; 3). Indicativul clasei de precizie reprezintă chiar eroarea de curent admisă în condiţiile nominale de funcţionare (la sarcină nominală, la limita superioară a domeniului normal de măsurare). Dacă sarcina secundară depăşeşte valoarea nominală, erorile de măsură cresc, adică transformatorul corespunde unei clase de precizie inferioară.

Tabelul 7.1

Domeniul de utilizare a transformatoarelor de măsură în funcție de erorile tolerate

Clasa de precizie a transformatoarelor de măsură	Domeniul de utilizare	Transformatoare de curent							Transformatoare de tensiune		
		Curentul primar, în [%] din curentul nominal	Erori tolerate		Limitele sarcinii secundare Z_2, în [%] față de cea nominală, la $\cos\varphi = 0{,}8$	Clasa de precizie a aparatelor de măsurat cu care se asociază transformatoarele de curent			Tensiunea primară, în % din tensiunea nominală	Erori tolerate	
			de curent în [%]	de unghi în [min]		Ampermetre	Wattmetre	Contoare		de tensiune, în %	de unghi, în min
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	Pentru măsurări de precizie în laborator	120—100 20 10	±0,1 ±0,15 ±0,2	± 6 ±10 ±12		0,5 1,0 1,0	0,5 1,0 1,0	0,5 — —	—	—	—
0,2	Pentru măsurări de precizie în laborator	120—100 20 10	±0,2 ±0,35 ±0,5	±10 ±15 ±20		1,0 1,5 —	1,0 1,5	1,0 1,0	50—120	±0,2	±10
0,5	Pentru măsurări în exploatare (pentru contoarele principale)	120—100 20 10	±0,5 ±0,75 ±1,0	±30 ±40 ±60	25—100	1 1,5	1 1,5	2 2,5	80—120	±0,5	±20
1	Pentru măsurări normale în exploatare (pentru relee-le de distanță, relee de putere și aparate de tablou)	120—100 20 10	±1 ±1,5 ±2	±60 ±80 ±120		2,5	2,5	—	90—100	±1	±40
3	Pentru relee de curent sau tensiune, diferențiale, ampermetre, semnalizări	100—50	±3	—	50—100	—	—	—	90—110	±3	—
10	Pentru măsurări fără condiții de precizie	100	±10	—	—	—	—	—	—	—	—
D	Pentru protecții diferențiale (cu valoarea lui n mare și caracteristici de magnetizare apropiate)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

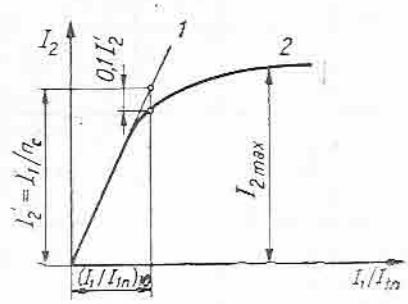


Fig. 7.4

Se defineşte puterea nominală secundară a transformatorului de curent ca fiind puterea cedată de transformator în circuitul secundar pentru curentul nominal secundar şi pentru impedanţa nominală secundară.

Se construiesc transformatoare de curent pentru 5, 10, 15, 30, 60 şi 90 VA (valori pe plăcuţele indicatoare).

În domeniul *supracurenţilor*, caracteristicile de funcţionare ale unui transformator de curent se exprimă prin curba care reprezintă variaţia curentului secundar I_2 în funcţie de raportul dintre curentul primar şi curentul primar nominal I_1/I_{1n} (fig. 7.4). Curba se numeşte *caracteristică de supracurent* şi este valabilă pentru o anumită valoare a sarcinii secundare.

Curba *1* din figura 7.4 reprezintă caracteristica unui transformator de curent ideal, iar curba *2* — caracteristica reală.

În locul caracteristicii de supracurent, pentru aprecierea capacităţii unui transformator de curent de a fi utilizat pentru o anumită protecţie, se foloseşte un parametru specific — *coeficient de saturaţie n*. Acesta se defineşte ca raportul dintre valoarea maximă a curentului primar pentru care transformatorul trebuie să respecte limitele privind eroarea compusă (*curent limită nominal de precizie* sau curent nominal primar de saturaţie) şi curentul primar nominal. Valorile normale ale coeficientului de saturaţie (factor limită de precizie) sînt: 5; 10; 15; 20; 30.

Transformatoarele de curent care alimentează aparate de măsurat au $n < 5$ sau $n < 10$.

Transformatoarele de curent destinate protecţiei au $n > 10 \ldots 30$ (în funcţie de tipul protecţiei şi de tensiunea elementului protejat).

Cu ajutorul noţiunilor de eroare compusă şi curent limită nominal de precizie se defineşte indicele de clasă, care caracterizează clasa de precizie a unui transformator de curent pentru protecţie.

Indicele de clasă indică limita superioară a erorii compuse pentru curentul limită nominal de precizie şi sarcina nominală. În indicativul clasei de precizie intră şi litera *P*, după numărul corespunzător indicelui de clasă. Clasele normale ale transformatoarelor de curent pentru protecţie sînt $5P$ şi $10P$, cu caracteristicile din tabelul 7.2.

În practică, interesează capacitatea de încărcare a transformatoarelor de curent în funcţie de I_1/I_{1n} pentru ca eroarea compusă maximă să nu depăşească limita de 5% sau 10%.

Tabelul 7.2

Erorile tolerate ale transformatoarelor de curent pentru protecţie

Clasa de precizie	Eroarea de curent pentru I_n [%]	Defazaj pentru I_n [min]	Eroarea compusă pentru curentul de precizie limită [%]
5P	±1	±60	5
10P	±3	—	10

Cataloagele prezintă curbele de variație a coeficientului de saturație n, în funcție de sarcina secundară z_s, pentru $\varepsilon_c = 5\%$ sau $\varepsilon_c = 10\%$ (fig. 7.5).

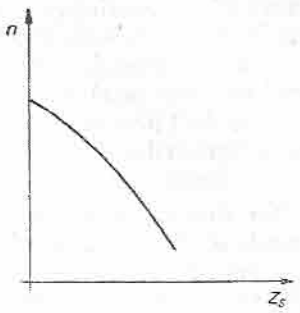


Fig. 7.5

7.2.2. Schemele de conexiuni ale trasformatoarelor de curent

Pentru conectarea aparatelor de măsurat, de protecție și de reglare, înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent se pot lega între ele în diverse moduri. În cele ce urmează se indică doar cîteva scheme de conexiuni ale înfășurărilor utilizate pentru măsură (fig. 7.6). Conexiunea înfășurărilor secundare pentru protecție rezultă din schemele de protecție corespunzătoare.

În sistemele trifazate, în cazul încărcării uniforme a fazelor se poate folosi pentru măsurarea curentului un singur transformator de curent, (fig. 7.6, *a*).

Schema de conexiuni în stea folosește transformatoare de curent pe toate fazele (fig. 7.6, *b*), iar schema de conexiuni în stea incompletă folosește transformatoare de curent numai pe două faze (fig. 7.6, *c*). Prin montarea unor ampermetre în circuitele secundare ale celor două transformatoare de curent se pot măsura curenți pe fazele respective R și T. Curentul fazei S poate fi măsurat prin montarea unui ampermetru pe conductorul de întoarcere.

La legarea în schemă a unui transformator de curent trebuie respectată următoarea regulă generală: aparatul se leagă la bornele înfășurării secundare astfel încît sensul de curgere a curentului prin bobina aparatului să fie același ca și în cazul în care acesta ar fi legat direct în circuitul primar.

7.2.3. Tipurile constructive ale transformatoarelor de curent

Transformatoarele de curent se construiesc în variante multiple, în funcție de tensiunea de izolație, locul de instalare, destinația, materialul izolant folosit, numărul de înfășurări secundare și clasa de precizie. Industria electrotehnică din România fabrică transformatoare de curent pentru

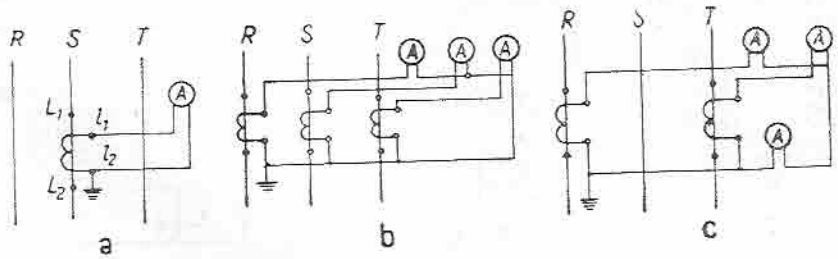


Fig. 7.6

instalaţii cu tensiunea cuprinsă între 0,5 şi 400 kV, pentru curenţi primari nominali între 5 şi 5000 A şi curenţi secundari nominali de 1 şi 5 A, satisfăcînd practic cerinţele economiei naţionale. Transformatoarele cu tensiuni mai mari de 10 kV se construiesc cu două înfăşurări secundare, iar cele de 110—400 kV— cu trei sau patru înfăşurări. Clasele de precizie ale înfăşurărilor secundare sînt 0,5; 1; 3 şi *D* (5*P* sau 10 *P*) care se pot grupa după necesităţi în diferite combinaţii.

Din punct de vedere al numărului de spire a înfăşurării primare se deosebesc două categorii (fig. 7.7):

a. transformatoare de curent cu o singură spiră;

b. transformatoare de curent cu mai multe spire.

Reperele figurilor 7.7 au următoarele semnificaţii: *1* — înfăşurarea primară, *2* — înfăşurarea secundară, *3* — circuitul magnetic şi *4* — material izolant.

Din punct de vedere al montajului se deosebesc:

a. transformatoare de curent tip suport;

b. transformatoare de curent de trecere.

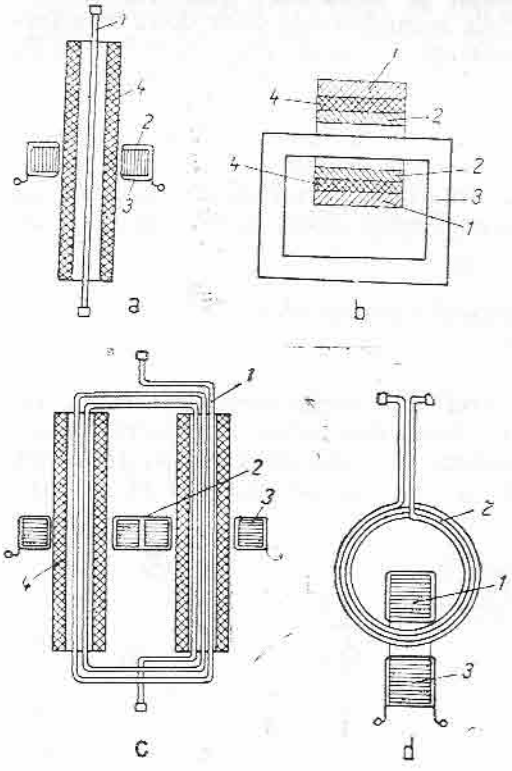


Fig. 7.7

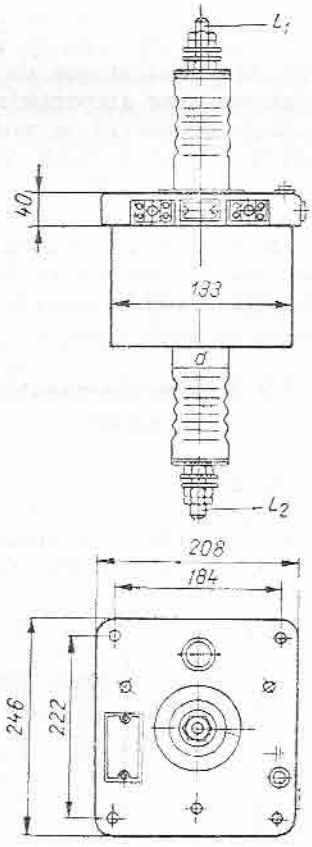


Fig. 7.8

Transformatoare de curent cu o singură spiră (fig. 7.7, *a*). Înfăşurarea primară poate fi o tijă, care să reprezinte o parte constructivă a transformatorului de curent sau o bară a instalaţiei de distribuţie sau partea conducătoare de curent a unui izolator de trecere.

Aceste transformatoare sînt simple din punct de vedere constructiv, au dimensiuni de gabarit şi greutăţi reduse în raportul cu alte tipuri, prezintă stabilitate termică şi electrodinamică mare la acţiunea curenţilor de scurtcircuit.

Dezavantajul principal constă în precizia lor mică la curenţi măsuraţi mici.

Majorarea numărului de spire ale înfăşurării primare şi majorarea corespunzătoare a numărului de spire secundar reduc valorile absolute ale erorilor — deoarece prin aceasta creşte tensiunea magnetomotoare a înfăşurării primare şi scade tensiunea magnetomotoare rezultantă.

La transformatoarele de curent cu o singură spiră în înfăşurarea primară (celelalte condiţii fiind aceleaşi) erorile vor fi cu atît mai mici cu cît raportul lor nominal de transformare va fi mai mare sau cu cît valoarea curentului primar va fi mai mare.

Transformatoarele de curent cu o singură spiră se construiesc pentru curenţi nominali în primar de cel puţin 400 A.

Aceste transformatoare pot avea una sau două înfăşurări secundare, aşezate pe miezuri separate, avînd sau nu aceeaşi clasă de precizie.

În figura 7.8 este prezentat un transformator de intensitate de interior, cu izolaţie de porţelan, tip trecere, de 10 kV şi de 400—1000 A.

În figura 7.9 este prezentat un transformator de curent, cu izolaţia de porţelan, de trecere, tip bară de 10 kV şi 2000...5000 A, construit pentru a fi montat direct pe barele instalaţiei. Se fabrică în variante cu două înfăşurări secundare.

Aparatele de măsurat trebuie montate la o distanţă corespunzătoare faţă de transformator pentru a nu fi influenţate de cîmpul magnetic puternic datorat curenţilor primari.

Transformatoarele de curent montate în interiorul izolatoarelor de trecere ale întreruptoarelor se întrebuinţează pentru tensiuni de 35 kV şi mai mult. Înfăşurarea primară o constituie bara conducătoare de curent a izolatorului

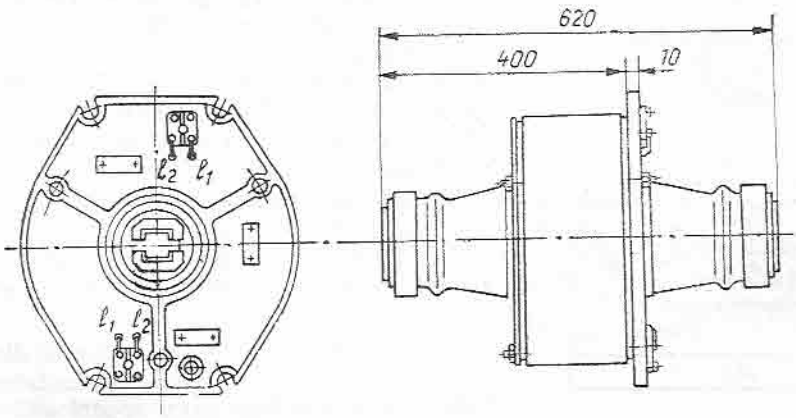


Fig. 7.9

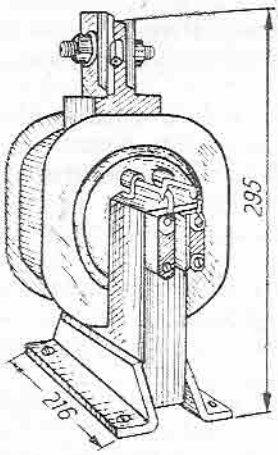
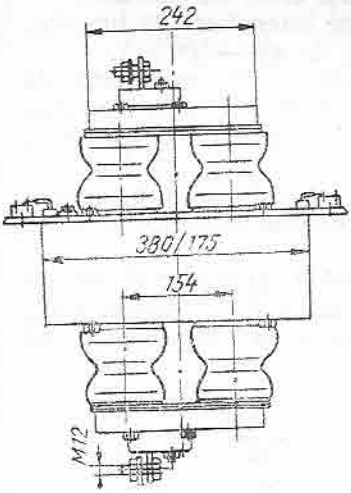


Fig. 7.10



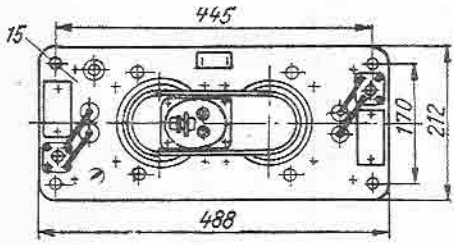


Fig. 7.11

de trecere a întreruptorului, iar înfăşurarea secundară este aşezată pe un miez inelar executat din benzi de oţel şi dispus în interiorul izolatorului.

Transformatoarele de curent cu mai multe spire (fig. 7.7, *b*, *c* şi *d*).

Se folosesc în cazul în care precizia cerută de măsurări nu se poate obţine cu transformatoare de curent cu o singură spiră şi cînd puterea înfăşurării secundare are o valoare însemnată.

Dezavantajul principal al transformatorului de curent cu mai multe spire constă în necesitatea protejării înfăşurării primare împotriva supratensiunilor care iau naştere între spire, prin conectarea în paralel cu bornele primare a unui eclator sau prin şuntarea înfăşurării primare cu o rezistenţă.

Din punct de vedere al formei înfăşurării primare şi al poziţiei sale faţă de miez se deosebesc:

a. transformatoare de curent cu bobină (fig. 7,7. *b*);

b. transformatoare de curent cu buclă (fig. 7.7, *c*);

c. transformatoare de curent în formă de opt (fig. 7.7, *d*)

a. În figura 7.10 este prezentat un transformator de curent cu bobină. Înfăşurarea secundară este dispusă pe o carcasă din material izolant, iar înfăşurarea primară este dispusă pe un izolator de porţelan. Înfăşurarea secundară este situată în interiorul cilindrului de porţelan şi astfel la acest tip cele două înfăşurări sînt separate cu o izolaţie de porţelan.

b. În figura 7.11 este prezentat un transformator de curent cu buclă.

Transformatoarele de acest tip se construiesc pentru tensiuni nominale de 6—20 kV şi curenţi de 5—400 A şi sînt folosite în instalaţii interioare, putînd avea una sau două înfăşurăr secundare.

Înfăşurarea primară este aşezată pe două izolatoare de porţelan.

În figura 7.12 este prezentată o secţiune printr-un transformator de curent cu înfăşurări în opt.

Acest transformator se compune dintr-o parte activă fixată pe un cărucior *6*, izolatorul de porţelan *1* ce constituie cuva superioară a transformatorului şi capacul bornelor primare. Transfor-

matorul este plin cu ulei *2* şi închis ermetic. Pe capacul *5* se află bornele primare L_1 şi L_2 şi indicatorul de ulei. În interiorul capacului se găseşte dispozitivul de comutaţie *7* al înfăşurării primare, o cutie cu silicagel şi un burduf care are rolul să preia variaţiile volumului de ulei cu temperatura.

Bornele secundare se află amplasate într-o cutie *8* pe peretele lateral al căruciorului.

Înfăşurarea primară *3* împreună cu miezurile şi cu înfăşurările secundare *4* au forma cifrei opt. Forma inelară a înfăşurării primare asigură o mare stabilitate electrodinamică acestui tip de transformator. Acest tip are dimensiuni de gabarit mici şi valori apreciabile ale puterilor secundare.

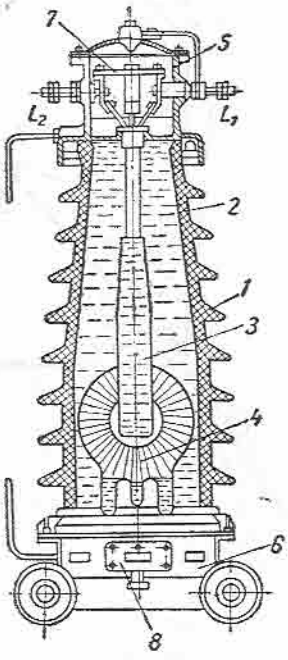


Fig. 7.12

7.3. Transformatoare de tensiune

7.3.1. Consideraţii generale

Transformatoarele de tensiune alimentează sistemele de tensiune ale aparatelor de măsurat, de protecţie şi de reglare. Înfăşurarea lor primară este conectată în *paralel* cu circuitul a cărui tensiune se transformă în secundar, conform schemei de principiu din figura 7.13.

Transformatoarele de tensiune se caracterizează prin raportul de transformare al tensiunilor nominale ale celor două înfăşurări n_t:

$$n_t = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Spre deosebire de transformatorul de curent, curentul de magnetizare al transformatorului de tensiune este independent de sarcina înfăşurării secundare (depinde de tensiunea reţelei şi de calitatea circuitului magnetic).

Precizia funcţionării transformatorului de tensiune poate fi caracterizată prin cele două erori: eroarea de tensiune şi eroarea de unghi.

Eroarea de tensiune se defineşte cu relaţia:

$$\varepsilon_u[\%] = \frac{n_t U_2 - U_1}{U_1} 100.$$

Eroarea de unghi δ_u reprezintă unghiul de defazaj dintre fazorul tensiunii primare şi fazorul tensiunii secundare rotit cu 180°.

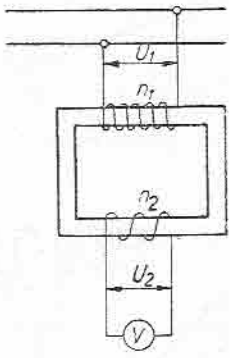


Fig. 7.13

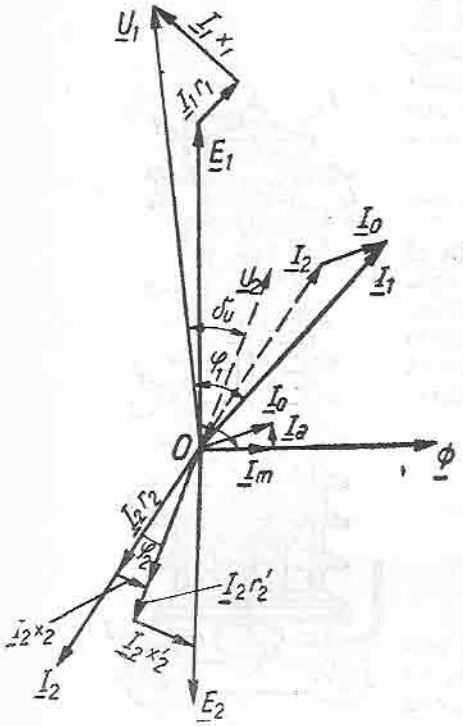
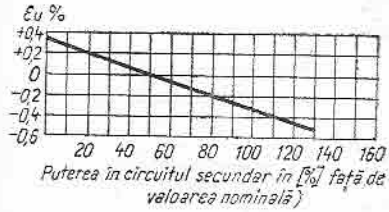


Fig. 7.14



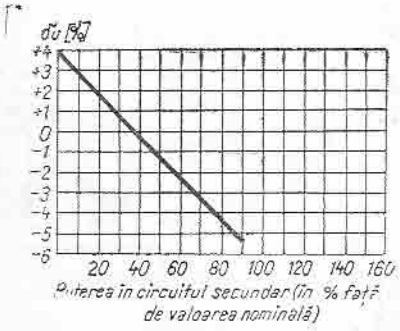


Fig. 7.15

Transformatorul de tensiune funcţionează ca un transformator de putere în regim de mers în gol. Diagrama fazorială a transformatorului de tensiune este redată în figura 7.14.

În această diagramă, $\underline{U}_1$ reprezintă fazorul tensiunii primare, $\underline{E}_1$ = t.e.m. primară, iar $\underline{I}_1 r_1$ şi $\underline{I}_1 x_1$ — căderile de tensiune în înfăşurarea primară. Curentul de mers în gol I_0 are două componente: o componentă avînd un caracter reactiv I_m, care serveşte la magnetizarea miezului magnetic şi o componentă activă I_a — pentru acoperirea pierderilor prin curenţi turbionari şi prin histerezis din circuitul magnetic. Fluxul creat în fier de curentul de magnetizare induce în înfăşurarea secundară o t.e.m. E_2 care acoperă căderea de tensiune în impedanţa sarcinii secundare ($\underline{U}_2 = \underline{I}_2 r_2 + \underline{I}_2 x_2$) şi căderea de tensiune în impedanţa înfăşurării secundare ($\underline{I}_2 r'_2$ şi $\underline{I}_2 x'_2$).

Micşorarea erorii de tensiune se obţine prin reducerea impedanţei înfăşurărilor şi a curentului de magnetizare precum şi prin funcţionarea transformatorului de tensiune cu o sarcină cît mai redusă.

Variaţia erorilor transformatorului de tensiune în funcţie de sarcina conectată în secundarul acestuia rezultă din figura 7.15.

Erorile tolerate ale transformatoarelor de tensiune sînt indicate, de asemenea, în tabelul 7.1.

Transformatoarele de tensiune se construiesc pentru următoarele clase de precizie: 0,1; 0,2; 0,5; 1 şi 3, indicele clasei de precizie reprezentînd eroarea de tensiune în condiţii nominale de funcţionare. La înfăşurările speciale pentru protecţie clasa de precizie se exprimă prin eroarea maximă admisibilă de tensiune în procente urmată de litera P (clasele de precizie standardizate pentru protecţie sînt $3P$ şi $6P$).

În afară de valoarea puterii aparente corespunzătoare funcţionării în clasa de precizie dorită, la transformatorul de tensiune se mai indică şi puterea maximă admisibilă pentru a nu se depăşi temperatura maximă admisă pentru regimul de funcţionare de lungă durată.

7.3.2. Schemele de conexiuni ale transformatoarelor de tensiune

Transformatoarele cu tensiuni nominale primare de 380 V şi 500 V se racordează la circuitul respectiv prin intermediul unor siguranţe fuzibile. În instalaţiile cu tensiuni nominale pînă la 35 kV — racordarea la bare se face prin intermediul separatoarelor şi siguranţelor fuzibile, iar la $U_n > 110$ kV — racordarea la bare se face doar prin intermediul separatoarelor.

Scopul siguranţelor de înaltă tensiune montate în circuitul primar al transformatorului este de a proteja reţeaua contra eventualelor consecinţe ale scurtcircuitelor produse în transformatorul însuşi sau în sectorul dintre siguranţă şi transformator. Aceste siguranţe nu protejează transformatorul de tensiune contra supraîncărcărilor, deoarece curentul nominal al acestora este mult mai mare decît curentul nominal al înfăşurării primare. Pentru a realiza protecţia transformatorului de tensiune contra supraîncălzirilor posibile la conectări greşite, cît şi datorită scurtcircuitelor, pe conductoarele circuitelor care leagă aparatele se instalează siguranţe fuzibile de joasă tensiune. Aceste siguranţe trebuie astfel alese încît să se topească sigur la depăşirea puterii maxime admisibile.

Din punct de vedere al numărului de faze transformatoarele de tensiune inductive se construiesc monofazate sau trifazate. Transformatoare inductive *monofazate* se construiesc în execuţie *monopolară* sau *bipolară*, respectiv cu un pol sau cu ambii poli izolaţi.

Transformatoarele monopolare au ca tensiune primară nominală $U/\sqrt{3}$ (U — fiind tensiunea între faze). În secundar au două înfăşurări: una *principală*, avînd tensiunea nominală de $100/\sqrt{3}$ V şi a doua, *auxiliară*, avînd tensiunea nominală de:

— 100/3 V în cazul folosirii în reţele cu punctul neutru izolat sau legat la pămînt prin bobină de stingere;

— 100 V în cazul folosirii în reţele cu punctul neutru legat efectiv la pămînt.

Tensiunile nominale ale înfăşurării secundare auxiliare au fost stabilite avînd în vedere că ele sînt destinate măsurării componentei homopolare de tensiune care apare într-o reţea trifazată în cazul unui defect monofazat. În acest scop, cele trei înfăşurări secundare auxiliare a trei transformatoare de tensiune monofazate se conectează în triunghi deschis.

Transformatoarele de tensiune *inductive* trifazate se construiesc pentru tensiuni primare pînă la 15 kV inclusiv, deci sînt utilizate în reţele cu neutrul izolat sau legat la pămînt prin bobine de stingere.

Spre deosebire de transformatoarele de forţă, transformatoarele de tensiune au miezul magnetic cu cinci coloane. Această construcţie este necesară pentru închiderea fluxului de secvenţă homopolară Φ_0, care apare în cazul unei puneri la pămînt în reţea. După cum se vede din figura 7.16, fluxul Φ_0 se închide prin coloanele extreme. Dacă se amplasează pe coloanele extreme două înfăşurări legate în serie, la bornele a_1 şi x_1 apare tensiunea de secvenţă homopolară care caracterizează un defect cu punere la pămînt.

În construcţiile obişnuite, pentru obţinerea tensiunii de secvenţă homopolară se utilizează trei înfăşurări auxiliare amplasate pe cele trei

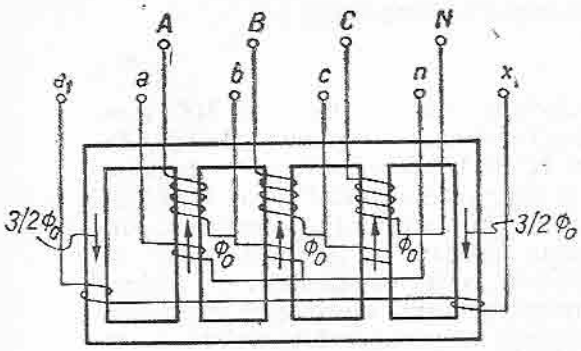


Fig. 7.16

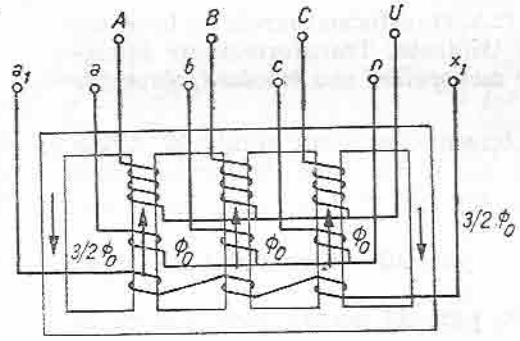


Fig. 7.17

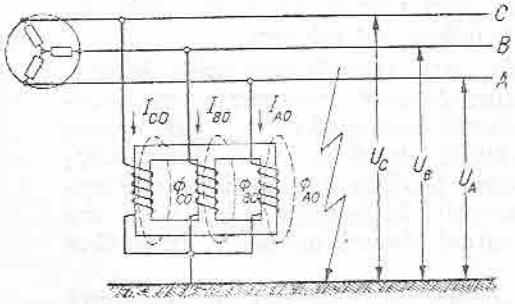


Fig. 7.18

coloane din mijloc, legate în triunghi deschis (fig. 7.17).

Transformatorul de tensiune trifazat cu trei coloane nu poate fi utilizat pentru măsurarea tensiunilor pe fază din motivele expuse în continuare.

Se consideră o reţea cu neutrul izolat faţă de pămînt la care este racordat un transformator de tensiune cu conexiune stea-stea, cu neutrul înfăşurării de înaltă tensiune legat la pămînt (fig. 7.18).

În cazul unui scurtcircuit monofazat al fazei A de exemplu, diagrama fazorială a tensiunilor capătă aspectul din figura 7.19, *a*. Tensiunea fazei A devine nulă, iar tensiunile fazelor B şi C vor creşte de $\sqrt{3}$ ori, unghiul de decalaj între ele scăzînd pînă la 60°.

Această asimetrie a tensiunilor faţă de pămînt se poate explica prin apariţia sistemului de tensiuni homopolare U_{A0}, U_{B0}, U_{C0}, care se suprapune peste sistemul de tensiuni directe $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ (fig. 7.19, *a*). Acestor sisteme de tensiuni le corespund sisteme de curenţi şi de fluxuri magnetice.

Fluxurile magnetice directe, decalate cu 120° între ele, se închid prin circuitul magnetic a cărui rezistenţă magnetică este mică. Din acest motiv şi curenţii de magnetizare de secvenţă directă sînt mici.

Fluxurile magnetice homopolare corespunzătoare celor trei miezuri sînt în fază şi deci se închid parţial prin aer şi parţial prin cuva transformatorului.

Întrucît aceste fluxuri homopolare întîmpină o rezistenţă magnetică mare, curenţii homopolari au valori mari şi în consecinţă curenţii totali în înfăşurările transformatorului au valori mult mai mari decît curenţii de magnetizare normali (fig. 7,19, *b*).

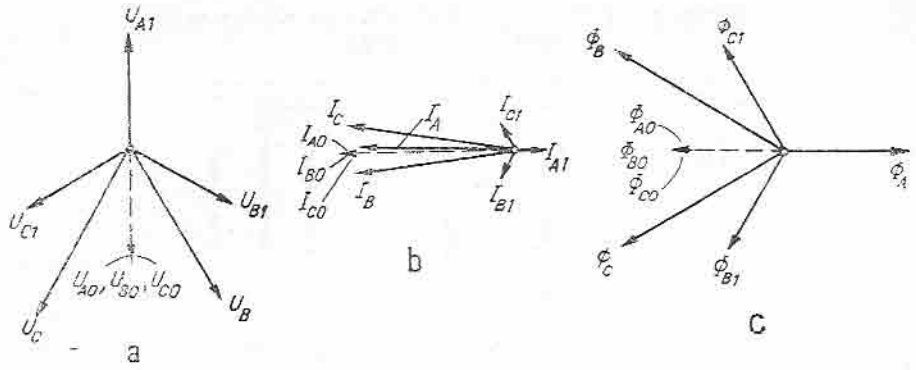


Fig. 7.19

Fluxul magnetic total al fazei *A* are o valoare apropiată de zero, fiind determinat doar de fluxul de dispersie al înfăşurării. În miezurile *B* şi *C*, fluxurile magnetice depăşesc valorile normale (fig. 7.19, *c*).

Aceasta duce la o supraîncălzire a înfăşurărilor, ceea ce poate duce la avarierea transformatorului de tensiune, în cazul unei funcţionări de durată a acestuia în condiţii anormale.

Din aceste motive transformatoarele de tensiune trifazate cu trei coloane nu au nulul accesibil pe capac şi nu pot fi folosite la măsurarea tensiunilor de fază.

În figura 7.20 sînt redate schemele uzuale de conexiuni pentru transformatoarele de tensiune în funcţie de modul de tratare a neutrului reţelei primare.

Schema din figura 7.20, *a* se aplică în cazul în care pentru măsură, protecţie şi automatizare este necesară numai o singură tensiune între faze. Cu ajutorul schemei din figura 7.20, *b*, aşa numita conexiune în *V*, se măsoară toate tensiunile între faze.

Schema din figura 7.20, *c* se realizează cu trei transformatoare monofazate în stea, cu neutrul înfăşurării primare legat la pămînt. Măsoară tensiunile pe fază şi între faze.

Schema din figura 7.20, *d* este realizată cu trei transformatoare de tensiune monofazate în stea, cu neutrul înfăşurărilor primare legat la pămînt şi se utilizează pentru măsurarea tensiunilor pe fază, între faze şi a componentei homopolare.

Schema din figura 7.20, *e* se evită în general. Transformatorul trifazat în stea are miezul magnetic cu trei coloane şi neutrul înfăşurării primare izolat. Măsoară tensiunile între faze.

Cu ajutorul schemei din figura 7.20, *f* realizată cu un transformator trifazat cu cinci coloane şi cu neutrul înfăşurărilor primare legat la pămînt, se măsoară tensiunile pe fază, între faze, precum şi componenta homopolară.

Schema din figura 7.20, *g* este realizată cu un transformator de tensiune monofazat legat între o fază şi pămînt şi deci măsoară tensiunea fazei respective.

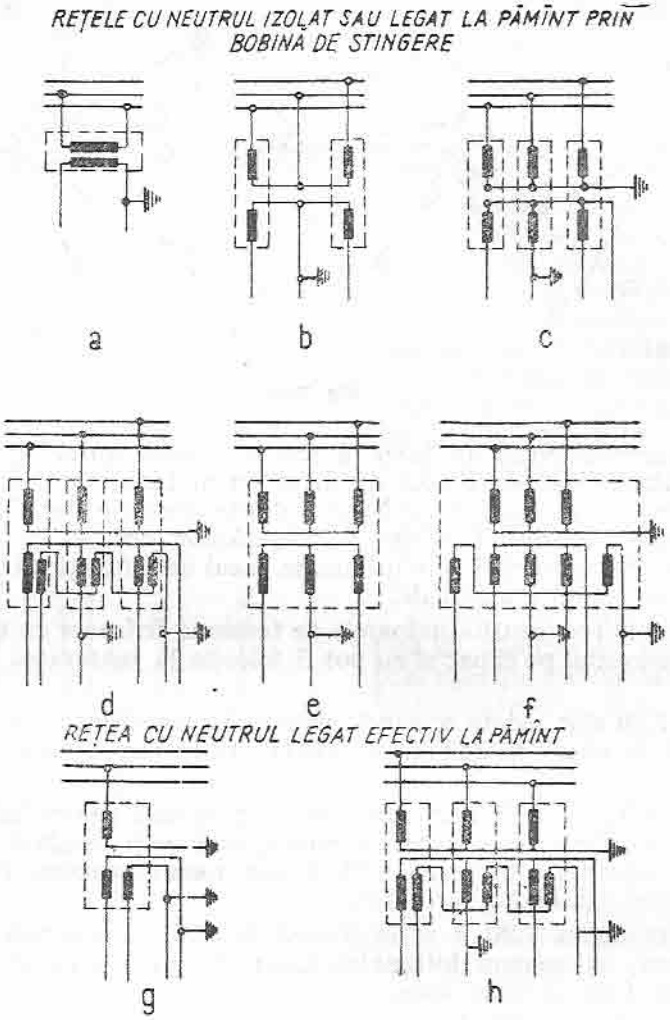


Fig. 7.20

Pentru măsurarea tensiunilor pe fază, între faze și a componentei homopolare se utilizează în rețelele cu neutrul legat direct la pămînt schema din figura 7.20, *h*, realizată cu trei transformatoare monofazate în stea, avînd neutrul înfășurărilor primare legat la pămînt.

În cazul utilizării transformatoarelor de tensiune *capacitive* se folosesc schemele din figurile 7.20, *g* și *h*.

Pentru tensiuni mai mari de 110 kV, transformatoarele de tensiune pot fi de *tip inductiv* sau de *tip capacitiv*. Schema de principiu a unui transformator de tensiune capacitiv se indică în figura 7.21.

Transformatorul se compune dintr-un divizor de tensiune capacitiv și dintr-un circuit inductiv la tensiune medie, conectat între priza mediană a divizorului capacitiv și pămînt. După valoarea tensiunii de serviciu,

divizorul capacitiv conține unul sau mai multe condensatoare suprapuse. Circuitul inductiv de măsură se compune dintr-un transformator T, o bobină de medie tensiune L_0 și un circuit de protecție antirezonant format din l_1, l_2, c_1 și r_1. Cu eclatorul E și bobina L se realizează protecția împotriva supratensiunilor.

Bornele înfășurărilor primare sînt marcate cu litere mari U (borna de înaltă tensiune) și X (borna legată la pămînt). Bornele înfășurărilor secundare principale sînt marcate prin literele mici u și x însoțite de indicii a și b. Bornele înfășurării secundare auxiliare sînt marcate cu litere mici e și n.

Clasele de precizie ale transformatoarelor de tensiune capacitive sînt aceleași ca și la cele inductive.

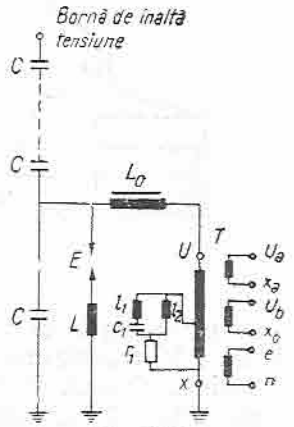


Fig. 7.21

Sarcinile maxime admise au valori cuprinse între 60 și 200 VA.

Avantajele transformatoarelor de tensiune capacitive sînt, în principal, următoarele:

— permit cuplarea la linia de înaltă tensiune a unei instalații de telecomunicații de înaltă frecvență;

— rezistență bună la undele de șoc, datorită repartiției uniforme a tensiunii în lungul divizorului capacitiv de tensiune.

Comparativ cu transformatoarele de tensiune inductive, transformatoarele capacitive sînt mai sensibile la variațiile de frecvență, la cîmpurile electrice perturbatoare, la umezeală și la variațiile de temperatură datorită prezenței capacității.

Dezavantajul principal al transformatorului capacitiv de tensiune constă în aceea că precizia măsurării este mult influențată de regimurile tranzitorii care apar în cazul unor regimuri de avarie în instalație.

Puterea secundară nominală a transformatoarelor capacitive este mult mai mică decît la transformatoarele inductive.

7.3.3. Tipurile constructive ale transformatoarelor de tensiune

Industria electrotehnică din țara noastră fabrică două tipuri de transformatoare de tensiune: inductiv și capacitiv. Înfășurările secundare ale transformatoarelor de tensiune inductive au tensiunile nominale de 100, $100/\sqrt{3}$ sau $100/3$ V, iar înfășurările primare sînt construite pentru tensiunile standardizate din instalațiile energetice, începînd cu 0,5 kV pînă la $110/\sqrt{3}$ kV inclusiv.

În ceea ce privește natura izolației transformatoarele de tensiune se împart în două mari categorii: transformatoare uscate și transformatoare cu ulei, ambele categorii avînd răcire naturală cu aer.

Transformatoarele de tensiune uscate se folosesc numai în instalațiile interioare și uscate, ele avînd o greutate mai mică, securitate la incendii și explozii, posibilități mai largi de montare în orice poziții.

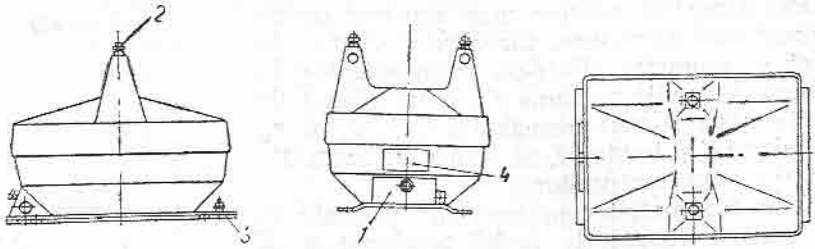


Fig. 7.22

Drept exemplu de transformator de tensiune uscat este reprezentat în figura 7.22 transformatorul TIRB—6, 10, 15 kV care este de tip interior, în rășină, bipolar. Pe figură, cutia de borne secundare este notată cu *1*, borna primară—*2*, șurubul de legare la pămînt—*3*, iar eticheta cu caracteristicile transformatorului—*4*. Transformatorul are o singură înfășurare secundară cu tensiunea nominală de 100 V.

În țara noastră se construiesc transformatoare de tensiune cu izolația în rășină turnată pentru tensiuni de la 0,5 pînă la 35 kV inclusiv.

Transformatoarele de tensiune cu ulei pot fi fabricate pentru orice tensiune și pentru orice fel de instalație (exterioară sau interioară).

Sistemul magnetic cu înfășurări al unui astfel de transformator, este situat într-un rezervor de oțel plin cu ulei de transformator. Bornele înfășurărilor sînt formate din izolatoare de trecere din porțelan fixate pe capac.

În figura 7.23 este prezentat un transformator de tensiune de 380 kV (de fabricație străină), de tipul inductiv, cu ulei, alcătuit din două părți active dispuse în sens contrar. Această dispoziție a fost adoptată pentru ca ambele circuite magnetice să se găsească la un potențial mediu între potențialul bornei de racord cu conductorul de fază și potențialul pămîntului. Contactul necesar între cele două circuite magnetice se face prin chiulase situate în centrul transformatorului. Înfășurările sînt dispuse în *V* și sînt cuplate în serie.

Izolația transformatoarelor de tensiune poate fi realizată principial în două moduri:

— într-o singură treaptă;

— în cîteva trepte, ca în cazul izolației în cascadă.

În cazul izolației într-o singură treaptă, întreaga tensiune dintre circuitul primar și secundar este repartizată pe izolația principală, care trebuie dimensionată pentru întreaga tensiune de încercare a înfășurării primare.

La *izolația în cascadă* (fig. 7.24) întreaga tensiune dintre circuitul primar și secundar se repartizează pe cîteva izolații principale. Tensiunea din înfășurarea primară se împarte, în acest caz, pe înfășurările primare ale cîtorva trepte de transformare. Erorile de măsurare cresc odată cu mărirea numărului de trepte de transformare, deci, numărul treptelor nu poate fi mărit oricît. În general, nu se recomandă mai mult de patru trepte. Deoarece fiecare izolație principală a cascadei este dimensionată numai pentru o parte din tensiunea de încercare, exigențele impuse execuției, calității materialelor și tehnologiei de prelucrare sînt mai moderate comparativ cu cazul în care izolația ar fi realizată într-o singură treaptă. Izolația

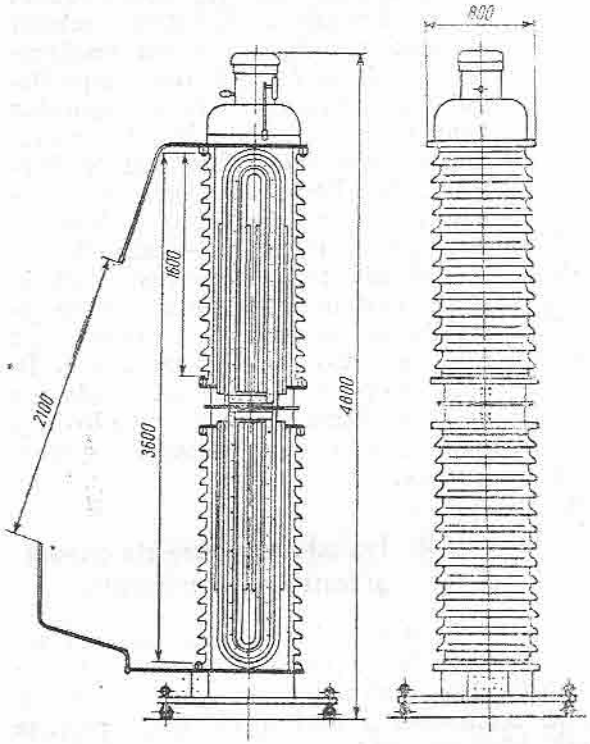


Fig. 7.23

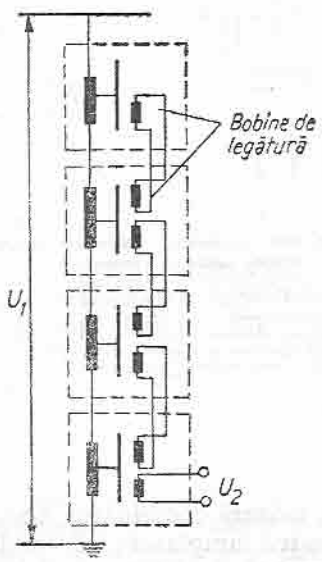


Fig. 7.24

într-o singură treaptă pune probleme constructive, tehnologice (procesul de uscare și impregnare cu ulei) care sînt cu atît mai dificile cu cît tensiunea este mai mare. În cazul transformatoarelor de foarte înaltă tensiune este necesar un volum mare de muncă manuală, care cu greu poate fi înlocuit prin mecanizare.

Soluția construirii transformatoarelor de tensiune în cascadă permite o producție de serie a elementelor constructive ce se repetă.

Tensiunea pe izolația în cascadă ar trebui să se repartizeze uniform pe fiecare dintre izolațiile principale. În realitate tensiunea care se aplică pe prima izolație este mult mai mare decît tensiunea care se aplică pe ultima izolație a cascadei. Acest lucru se poate corecta prin introducerea în schemă a unor condensatoare auxiliare sau prin creșterea izolației primelor două trepte.

De asemenea, circuitul magnetic al transformatoarelor de tensiune poate fi pus la potențialul înfășurării primare.

Actualmente, la tensiuni superioare celor de 110 kV inclusiv, se utilizează pe scară din ce în ce mai largă transformatoarele de tensiune capacitive. Uzinele Electroputere Craiova execută transformatoare de tensiune de tip capacitiv TECU—220 și 400 kV, cu izolație în ulei.

Schema electrică de principiu a acestui tip de transformator este prezentată în figura 7.25. Prin C s-au notat condensatoarele care alcătuiesc

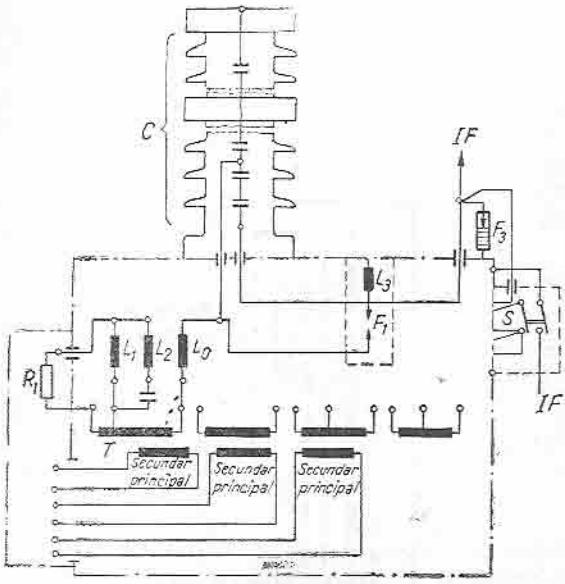


Fig. 7.25

divizorul capacitiv, L_0 este o bobină de înaltă tensiune, F_1 este un eclator de protecţie, F_3 — este un descărcător, L_1, L_2 şi R_1 alcătuiesc dispozitivul ferorezonant, S este un separator pentru racordarea circuitului de comunicaţie prin curenţi de înaltă frecvenţă IF. Transformatorul de tensiune T are trei înfăşurări secundare, două-principale şi una-auxiliară.

Unităţile de condensatoare trebuie să fie scurtcircuitate pînă ce toate lucrările de montaj şi de racord ale transformatoarelor sînt terminate. În acest scop se prevede un conductor de cupru între armătura superioară şi inferioară a fiecărei unităţi de condensatoare.

7.4. Transformatoare de curent şi tensiune combinate

În staţiile de tensiuni înalte şi foarte înalte se pot folosi transformatoare de măsură combinate. Această soluţie determină reducerea spaţiului necesar pentru amplasare şi conduce la economisirea multor elemente comune (carcasă, izolator, ramă de bază, cărucior etc.).

Dezavantajul acestei construcţii constă în faptul că în cazul defectării unuia dintre cele două transformatoare trebuie scos din funcţiune întregul ansamblu.

În funcţie de felul circuitului magnetic se deosebesc două categorii:

— transformatoare cu circuit magnetic *comun;*

— transformatoare cu circuit magnetic *separat:*

În figura 7.26 se prezintă schema unui transformator combinat care are circuitul magnetic comun. Transformatorul de curent are înfăşurarea primară şi secundară pe miezul *II* din mijlocul circuitului magnetic. Înfăşurările primară şi secundară ale transformatorului de tensiune sînt împărţite pe miezurile laterale.

Majoritatea transformatoarelor combinate se construiesc cu circuite magnetice separate. Primul transformator de curent şi tensiune combinat, realizat de firma AEG, a fost de tipul cu cuvă metalică (fig. 7.27.*a*). Elementele funcţionale ale transformatorului de curent *1* şi ale transformatorului de tensiune *2* au fost dispuse într-o cuvă metalică *6* cu ulei, iar plecările înfăşurării primare au fost scoase la bornele *3* printr-un izolator de trecere comun *5*. Izolatorul de trecere *4* este necesar pentru legarea înfăşurării primare a transformatorului de tensiune la cea de-a doua fază pentru legarea în stea a trei astfel de transformatoare (fig. 7. 27,*a*).

Construcţiile cele mai noi de transformatoare combinate sînt realizate într-o cuvă de porţelan *7* (fig. 7.27, *b*). Elementele funcţionale (transforma-

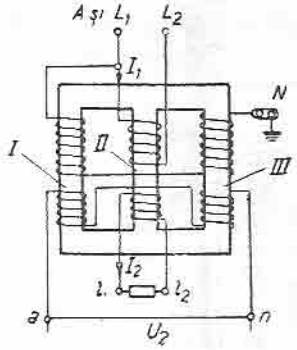


Fig. 7.26

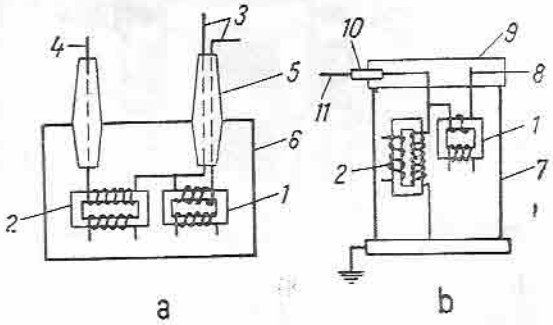


Fig. 7.27

torul de curent *1* şi de tensiune *2*) sînt dispuse, de obicei, la partea de sus a cuvei. Această dispunere este avantajoasă din punct de vedere a stabilităţii electrodinamice în caz de scurtcircuit faţă de dispunerea în partea de jos a cuvei. Borna *8* este legată electric cu condensatorul *9*, iar borna *11* este izolată printr-un izolator *10*. În figura 7.28 sînt indicate diverse construcţii de transformatoare de curent şi tensiune combinate.

În figura 7.28, *a* este indicată realizarea combinată a transformatorului în cuvă de porţelan. Circuitul magnetic *3* al transformatorului de tensiune *TT* are potenţialul tensiunii înalte. Înfăşurările primară şi secundară ale *TT* sînt notate cu *1* şi *2*. Transformatorul de curent *TC* este plasat în partea de jos a cuvei. Înfăşurările primară *4* şi secundară *5* sînt dispuse pe miezul magnetic *6*. Borna de ieşire a înfăşurării secundare a transformatorului de tensiune şi cea de intrare a înfăşurării primare a transformatorului de curent sînt scoase prin izolatoare de trecere. Izolaţia este realizată din înfăşurări din hîrtie, în care sînt introduse armături de condensator, pentru realizarea unei distribuţii uniforme a tensiunii pe straturile izolaţiei şi de-a lungul izolatoarelor de trecere.

În figura 7.28, *b* transformatorul de curent *TC* se află la partea de sus a cuvei. Înfăşurarea secundară *5*, dispusă pe miezul 6 în formă de toroid, este ecranată cu bandă metalică, racordată la un tub cu armături de condensator legat la pămînt.

Pe bandajul metalic înfăşurat cu izolaţie de hîrtie, dimensionată pentru întreaga tensiune de lucru, este dispusă înfăşurarea primară *4* a transformatorului de curent. Transformatorul de tensiune este dispus la partea de jos. Înfăşurarea primară *1* şi secundară *2* sînt bobinate pe miezul din mijloc al circuitului magnetic, iar carcasa este legată la pămînt.

Înfăşurarea primară este prevăzută cu ecrane şi înfăşurată cu izolaţie de hîrtie avînd armături de condensator.

În interiorul izolatorului de porţelan se găseşte un cilindru *7* prevăzut cu armături de condensator, care asigură repartiţia uniformă a tensiunii pe suprafaţa izolatorului. Cilindrul micşorează şi pericolul de explozie al transformatorului.

În figura 7.29 transformatorul combinat este alcătuit din transformatoare de curent şi de tensiune care se fabrică separat. Transformatorul de tensiune *TT* are circuitul magnetic *3* în formă de *U* închis, pe lungimea căruia

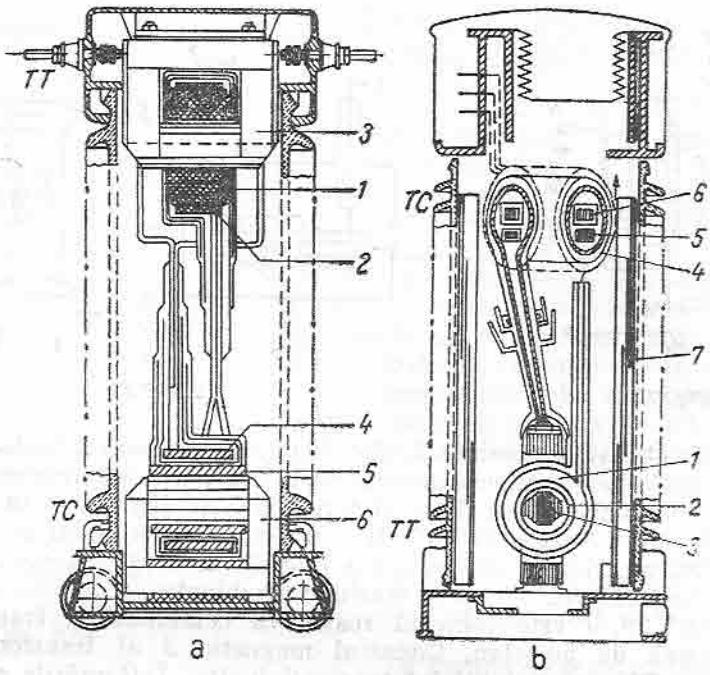


Fig. 7.28

este dispusă înfășurarea secundară. Peste înfășurarea secundară se așază izolația principală constituită din hîrtie, peste care este dispusă înfășurarea primară *1*, alcătuită dintr-o serie de bobine. Transformatorul de curent *TC* este cu toroizi încrucișați. Înfășurarea secundară *5* este dispusă pe toroidul *2*. În izolația înfășurării primare *4*, realizată din hîrtie înfășurată sînt introduse armăturile de condensator, conectate cu bobinele respective ale transformatorului de tensiune. Această realizare asigură distribuția uniformă a tensiunii pe fiecare strat de izolație și reprezintă o stabilitate mare față de solicitările undelor de tensiune de impuls.

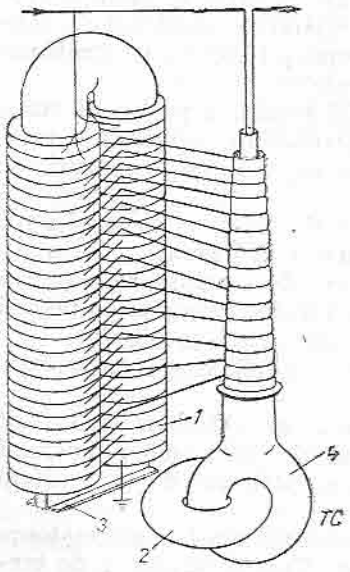


Fig. 7.29

S-au realizat și transformatoare combinate în care transformatorul de tensiune are circuitul magnetic deschis.

La transformatoarele combinate, transformatorul de tensiune inductiv poate fi înlocuit cu un transformator de tensiune capacitiv.

7.5. Principiile de exploatare ale transformatoarelor de măsură

Transformatoarele de măsură montate în instalațiile electroenergetice necesită o supraveghere permanentă și atentă din partea personalului de exploatare în tot timpul funcționării. Această exploatare constă în următoarele:

— verificarea aspectului exterior;
— scoaterea din funcțiune periodică pentru luarea probelor de ulei;
— completarea sau umplerea cu ulei ori de cîte ori este necesar;
— scurtcircuitarea înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent în cazul cînd acestea nu se mai folosesc; în cazul cînd se lucrează în circuitele secundare alimentate de transformatoare de curent în funcțiune, se vor lua, de asemenea, măsuri ca în timpul lucrărilor înfășurările secundare să fie scurtcircuitate cu ajutorul unor cleme speciale sau cu blocuri de încercare:
— verificările și încercările periodice conform normelor;
— respectarea normelor de tehnica securității și a instrucțiunilor tehnice interne;
— ținerea evidenței tehnice la zi (buletinele de verificare și încercare, datele la care s-au luat probele de ulei și rezultatele acestora, datele la care s-au efectuat reparații, defecțiunile constatate, modul în care s-au manifestat etc.)

În cele ce urmează se precizează cîteva noțiuni generale privind verificările și încercările transformatoarelor de măsură. Transformatoarele de măsură sînt supuse solicitărilor termice, electrice, electrodinamice, atît în regim normal de funcționare, cît și în regim de avarie.

Măsurările, verificările și încercările care se fac în întreprinderile constructoare, în institutele de cercetări sau în exploatare au ca scop să reproducă cît mai fidel aceste solicitări și să constate corecta funcționare și siguranța în exploatare a transformatoarelor.

Pentru stabilirea stării izolației transformatoarelor de tensiune se fac încercări ce pot fi grupate în două categorii:

— încercări nedistructive, care nu modifică starea normală a izolației;
— încercări distructive.

Din grupa încercărilor nedistructive fac parte măsurarea rezistenței de izolație, a tangentei unghiului de pierderi dielectrice, a capacității dielectricului etc.

Încercările distructive cuprind încercarea cu tensiune alternativă sinusoidală mărită (50 Hz) și încercarea la tensiune de impuls.

Volumul de verificări și încercări la care trebuie supuse transformatoarele de măsură este stabilit prin instrucțiuni.

Capitolul VIII

APARATE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

8.1. Generalităţi. Clasificare

Aparatele electrice de joasă tensiune sînt aparatele ce se construiesc pentru tensiuni nominale ce nu depăşesc 1000 V curent alternativ, 1 200 V curent continuu. Se realizează într-o mare varietate de tipuri şi se folosesc nu numai în centrele şi staţii electrice, ci şi în industrie şi sectorul casnic pe scară foarte largă. De altfel, toate aparatele electrice folosite în sec, torul casnic sînt aparate de joasă tensiune; la fel — o mare parte a aparatelor electrice folosite în industrie. Capitolul de faţă se va ocupa cu precădere de aparatele electrice de joasă tensiune folosite în centrale şi staţii cu observaţia că domeniul de aplicaţie al acestor aparate nu este strict al centralelor şi staţiilor, ele folosindu-se pe scară largă şi în industrie.

În centrale şi staţii electrice, aparatele electrice de joasă tensiune se folosesc atît pe partea de circuite primare, cum e cazul instalaţiilor electrice de distribuţie şi utilizare cu tensiunea nominală mai mică de 1 000 V, cît şi pe partea de circuite secundare unde, prin prezenţa lor, asigură funcţionarea circuitelor primare de înaltă tensiune. În special, pe partea de circuite secundare, a căror tensiune nominală este sub 1 000 V, rolul aparatelor de joasă tensiune este foarte important, fără ele nefiind posibilă funcţionarea corectă a circuitelor primare de forţă.

Clasificarea aparatelor electrice de joasă tensiune se poate face după mai multe criterii: după felul curentului, după tensiunea nominală, după curentul nominal, după numărul de poli etc.

După felul curentului, aparatele sînt de curent alternativ sau de curent continuu, cele de curent alternativ putînd fi de curent alternativ monofazat sau de curent alternativ trifazat.

Tensiunile nominale standardizate sub 1 000 V curent alternativ şi 1 200 V curent continuu sînt: în curent alternativ — 24, 48, 127, 220, 380, 660 (500), 1 000 V, iar în curent continuu — 24, 48, 125, 250, 400, 800, 1 200 V.

Din punct de vedere al protecţiei muncii, aparatele cu tensiuni nominale mai mari de 42 V sînt considerate ca avînd tensiuni periculoase.

Curenţii nominali standardizaţi sînt: 6, 3, 10, 16, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 160, 200, 315, 400, 630, 1 600, 2 000, 2 500 şi 3 150 A. Pentru secundarul transformatoarelor de măsură este standardizat curentul de 5 A.

Aparatele de joasă tensiune se construiesc monopolare, bipolare, tripolare şi tetrapolare. Primele două variante sînt destinate pentru a funcţiona în curent alternativ monofazat sau curent continuu. Variantele tri- şi tetrapolare se construiesc pentru a funcţiona în curentul alternativ trifazat.

În acest capitol vor fi prezentate numai tipurile reprezentative de aparate de joasă tensiune, folosite în centrale şi staţii şi anume:

— contactoarele — elemente folosite în schemele electrice de acţionări şi automatizări în domeniul curenţilor tari;

— întreruptoarele automate de putere — aparate cu sarcini atît de comutaţie, cît şi de protecţie;

— siguranţe fuzibile de joasă tensiune — elemente de protecţie de mare eficienţă economică.

În afară de aceste tipuri, există şi altele care însă nu vor fi prezentate în acest capitol.

8.2. Contactorul

Contactorul se poate defini ca un aparat de comutaţie cu o singură poziţie de repaus, acţionat în alt mod decît manual, capabil de a închide, a suporta şi a întrerupe curenţi în condiţii normale, inclusiv curenţii de serviciu şi de suprasarcină.

Contactoarele sînt cele mai răspîndite aparate din instalaţiile de comandă şi automatizare. Prezintă avantajele că pot fi acţionate de la distanţă la primirea unui impuls ce poate fi dat manual sau automat, au o frecvenţă mare de conectare şi o rezistenţă mare la uzura electrică şi mecanică.

Principalele elemente ale unui contactor sînt:

— *elementul motor* care asigură deplasarea contactelor mobile. Acest element poate fi un electromagnet (contactoare electromagnetice), un piston acţionat cu aer comprimat (contactoare pneumatice) sau un ax motor prevăzut cu came (contactoare mecanice). Cele mai răspîndite sînt contactoarele electromagnetice, mai ales cele ce acţionează în circuite de curent alternativ (contactoare de curent alternativ). Electromagnetul poate fi alimentat cu tensiune alternativă (în cea mai mare parte a cazurilor) sau continuă;

— *polii principali* constituiţi din bornele de intrare şi ieşire, puntea conductoare care asigură continuitatea circuitului principal, contactele şi camera de stingere. Numărul polilor principali este de trei, în cazul utilizării contactorului în curent alternativ trifazat şi de doi — în cazul utilizării în curent alternativ monofazat sau continuu;

— *polii auxiliari* care sînt de fapt contactele auxiliare care servesc la menţinerea sub tensiune a bobinei electromagnetului, la semnalizare sau blocare;

Contactorul poate fi realizat cu contacte *normal închise* sau *normal deschise*. Contactul normal deschis este contactul care se află deschis cînd aparatul se află în poziţie de repaus. Contactul normal închis este acel contact care se află închis cînd aparatul se află în poziţie de repaus.

Contactorul cu contactele principale normal închise se numeşte *ruptor*.

Carcasa aparatului este formată din piese izolante şi metalice care asigură izolarea, ghidajul pieselor în mişcare şi fixarea aparatului în poziţia de funcţionare.

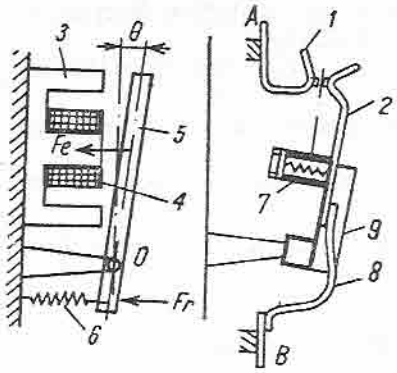


Fig. 8.1

Din punct de vedere al cinematicii, contactoarele se pot clasifica în:

— contactoare cu *mişcare de rotaţie* a contactelor mobile şi electromagnetului;

— contactoare cu *mişcare de translaţie* a contactelor şi electromagnetului. Mişcările contactelor şi electromagnetului pot fi paralele şi contactorul are o mişcare de translaţie simplă sau perpendiculară una pe cealaltă şi contactorul are o mişcare combinată.

În figura 8.1 este reprezentată schema de principiu a unui contactor cu mişcare de rotaţie. Armătura fixă *3*, bobina *4* şi armătura mobilă *5* constituie electromagnetul de acţionare. Armătura mobilă *5* execută o mişcare de rotaţie în jurul axului *O*. Momentul activ este dat de forţa de atragere F_e a electromagnetului, iar momentul rezistent — de forţa rezistentă a resortului *6*, de forţa rezistentă a resortului *7*, de forţele rezistente ale resorturilor contactelor auxiliare. Calea de curent este formată din barele *1*, *2* şi tresa flexibilă *8* ce face legătura între piesa *2* şi borna *B*. Pe piesele *1* şi *2* se află contactele. Resortul *7* care este preîntins şi piesele *2* şi *8* se află într-o casetă izolantă *9* fixată pe axul *0*. θ este unghiul de rotaţie.

Acest tip de contactor este utilizat mai ales în circuite de curent continuu şi uneori în circuite de curenţi alternativi mari. Se realizează cu o singură rupere pe fază în camera de stingere tip deion. La noi în ţară se fabrică seria CT. Alte tipuri sînt Télémecanique, contactoare de regim greu EAW etc.

Contactoarele cu mişcare de translaţie sînt cele mai răspîndite. În figura 8.2 este reprezentată construcţia unui contactor cu mişcare de translaţie simplă. Soclul *1* permite montarea aparatului pe suport şi pe el se fixează restul subansamblelor. Pe miezul magnetic fix *2* se montează bobina de acţionare. Contactele fixe se montează pe corpul izolant *3*. În partea de sus se află echipajul mobil *4* ce conţine miezul magnetic mobil şi contactele mobile. Tot în partea superioară se află şi camerele de stingere *5* şi contactele auxiliare *6*.

În figura 8.3 este reprezentat schiţat un contactor cu mişcare combinată. Contactele fixe *5* se află montate pe suportul *2*. Contactele mobile *6* execută o mişcare de translaţie, orizontală, perpendiculară pe mişcarea de translaţie executată de armătura magnetică mobilă *8*, cînd este atrasă de miezul magnetic fix *7*. Transformarea mişcării între cele două elemente se face cu ajutorul braţului *9* ce se roteşte în jurul axului *10*. Resortul *11* realizează revenirea armăturii magnetice *8* atunci cînd încetează acţiunea miezului *7*. Camera de stingere a arcului *3* conţine plăcuţele *12* ce servesc la fragmentarea arcului şi stingerea sa pe baza efectului de electrod (arcul scurt). În afară de contactele principale, contactorul mai este prevăzut şi cu contactele auxiliare *4*. Toate aceste subansamble se află montate în carcasa *1*.

Contactoarele cu mişcare de translaţie se utilizează pentru instalaţii de curent alternativ cu tensiuni nominale pînă la 500 V şi curenţi nominali pînă la 30—60 A. Avînd o construcţie simplă se pretează foarte bine la o

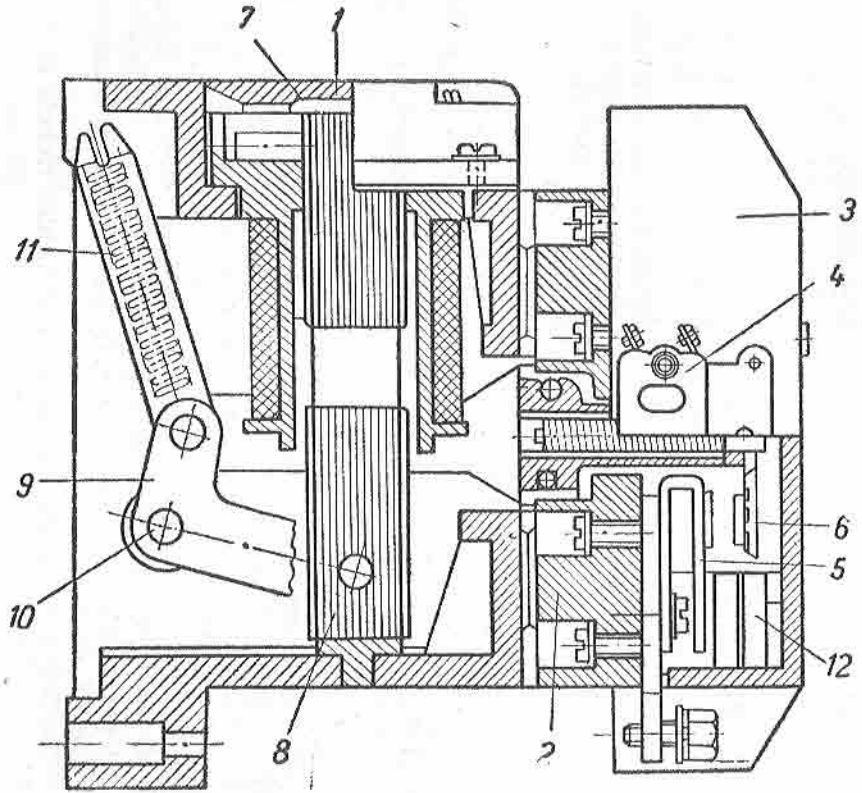


Fig. 8.3

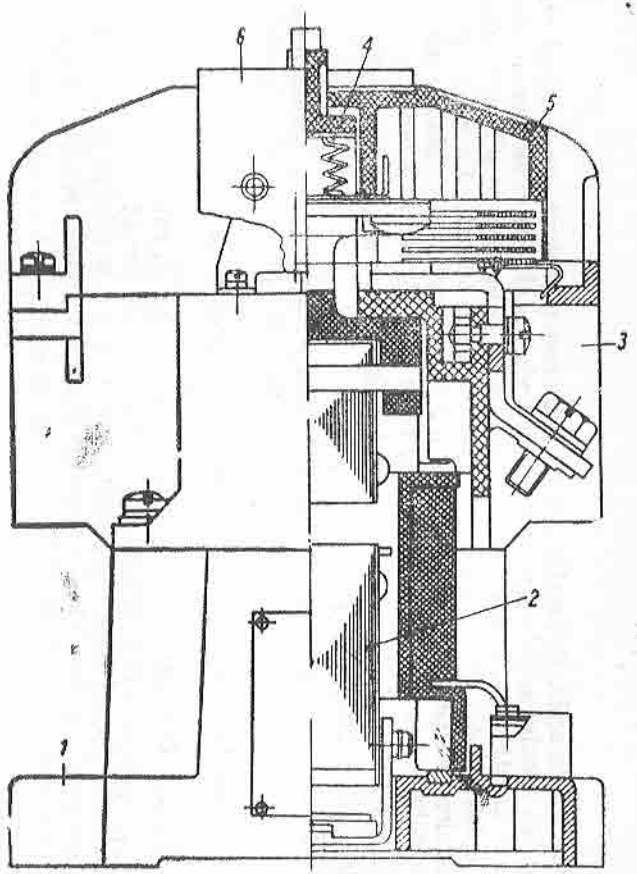


Fig. 8.2

producție de serie. Se realizează cu două ruperi pe fază, ceea ce facilitează stingerea arcului astfel că pentru curenți pînă la 6—10 A nici nu se prevăd camere de stingere. Pentru curenți mai mari camerele de stingere folosesc principiul arcului scurt pentru stingerea arcului electric. La noi în țară se construiesc seriile AC 3 și TCA (figura 8.3). Tipuri străine sînt: seria Stot 2-Kontakt, seria CN-Télémecanique, seria K 915 Siemens etc.

După felul sarcinii, contactoarele clasifică în următoarele tipuri:

— în curent alternativ:
  — tip AC 1 — utilizat la comanda diferitelor receptoare cu sarcini electrice neinductive sau slab inductive (cuptoare electrice cu rezistențe);
  — tip AC 2 — utilizat la pornirea motoarelor cu inele de contact și la frînarea în contracurent;
  — tip AC 3 — utilizat la pornirea motoarelor cu rotorul în scurtcircuit și la oprirea motoarelor în plin mers;
  — tip AC 4 — utilizat la pornirea motoarelor cu rotorul în scurtcircuit, la mersul cu șocuri și la inversarea sensului de rotație al motoarelor;

— în curent continuu:
  — tip DC 1 — utilizat la comanda diferitelor receptoare cu sarcini neinductive sau slab inductive (cuptoare cu rezistență);
  — tip DC 2 — utilizat la pornirea motoarelor cu excitație în derivație și la oprirea acestor motoare în plin mers;
  — tip DC 3 — utilizat la pornirea motoarelor cu excitație în derivație, la mersul cu șocuri și la inversarea sensului de rotație al motoarelor;
  — tip DC 4 — utilizat la pornirea motoarelor cu excitație serie și oprirea motoarelor cu excitație serie în plin mers;
  — tip DC 5 — utilizat la pornirea motoarelor cu excitație serie, la mersul cu șocuri, și la inversarea sensului de rotație al motoarelor.

La noi în țară se fabrică tipul AC 3 din contactoarele de curent alternativ și tipurile BC 60 A, MC 80 A, RMC 80 A, MC 100 A, MC 150 A, RMC 150A și altele din categoria DC 2.

Se fabrică, de asemenea, și tipul MCA 16 A — contactor de curent continuu și alternativ (B—bipolar, C—curent continuu, R—ruptor, M—monopolar).

La montarea contactoarelor trebuie respectată în primul rînd poziția de funcționare pentru a nu se ajunge la defectarea lor prematură. Apoi trebuie acordată atenție modului de fixare pe suport pentru ca să nu apară jocuri și vibrații din cauza șocurilor în momentul acționărilor.

Odată cu montarea se fac de regulă și o serie de verificări:

— poziția contactelor mobile față de cele fixe trebuie să fie corectă în sensul că cele mobile trebuie să se suprapună peste cele fixe în mod corect;

— echipajul mobil și contactele mobile trebuie să aibă o mișcare ușoară neîmpiedicată de ceva;

— contactele normal deschise sau normal închise trebuie să funcționeze corect;

— camerele de stingere trebuie să existe şi să fie integre. La camerele de stingere ceramice trebuie cercetat dacă nu s-au spart în timpul transportului sau dacă nu prezintă fisuri.

În cazul în care contactorul este folosit şi ca element de protecţie el se echipează şi cu relee de protecţie, de regulă, relee cu bimetal care au ca scop principal protecţia împotriva suprasarcinilor.

În figura 8.4 se prezintă schema electrică de acţionare a unui astfel de contactor. Comanda închiderii şi deschiderii se face cu ajutorul butoanelor *I* şi *O*. Excitaţia bobinei de acţionare *B* se face în curent alternativ. Automenţinerea excitaţiei, după acţionarea butonului *I* de închidere, se face cu ajutorul contactului *4*. Pe căile principale de curent se înseriază releele de protecţie R_t. La depăşirea curentului reglat, contactul *8* este deschis şi bobina se dezexcită. Contactele auxiliare *5*, *6*, *7* servesc la semnalizare şi blocaj în circuitele secundare.

Contactoarele cu relee pot fi de tipul *în aer* (majoritatea) sau *în ulei*, în care caz contactele se află în ulei mineral de transformator.

Contactoarele în ulei se utilizează mai ales în cazurile în care este necesară protejarea contactelor de acţiunea mediului ambiant sau este necesară protejarea mediului de acţiunea arcului electric (medii inflamabile sau explozive).

Contactoarele cu relee sînt foarte mult folosite mai ales la protecţia motoarelor împotriva suprasarcinilor şi a rămînerii în două faze. Constructiv ele se realizează capsulate în carcase din material izolant sau metalice.

La noi în ţară se fabrică contactoare cu relee în aer de tipurile: AC 3 cu bloc de relee termice de diverşi curenţi nominali şi DITA. Dintre contactoarele cu relee în ulei se fabrică tipul DITU pentru diverşi curenţi nominali.

Se mai construiesc, de asemenea, şi contactoare cu relee în construcţia antigrizutoasă tip AG şi în construcţie antiexplozivă.

Un tip constructiv mai complex îl constituie contactoarele cu relee cu reanclanşare tip CAR folosite pentru comanda şi protecţia motoarelor electrice. Aparatul este prevăzut cu un contactor, un bloc de relee termice, un grup de siguranţe cu mare putere de rupere şi un dispozitiv care permite reanclanşarea automată la apariţia tensiunii cu o temporizare reglabilă între 15—200 de secunde.

În afară de contactoarele electromagnetice se realizează şi contactoare pneumatice utilizate, în general, la acţionarea instalaţiilor de curent continuu (de exemplu la locomotive Diesel-electrice). Contactul principal este acţionat

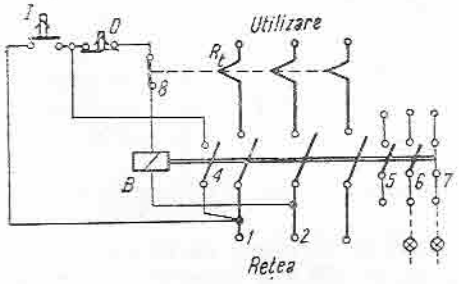


Fig. 8.4

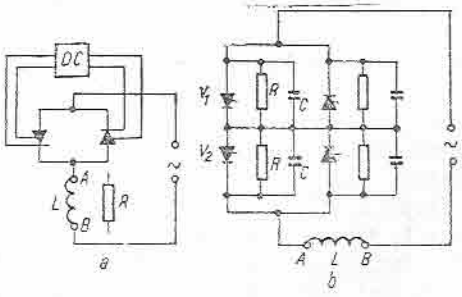


Fig. 8.5

cu ajutorul unui piston pus în mişcare de aerul comprimat. Admisia aerului în cilindru se face printr-un electroventil.

În ultimul timp, datorită creşterii parametrilor dispozitivelor semiconductoare, s-au realizat contactoare statice, fără elemente mecanice în mişcare, fără camere de stingere. Preţul de cost încă ridicat al dispozitivelor semiconductoare determină însă folosirea acestor contactoare numai în cazuri speciale, care cer condiţii stricte în exploatare.

În figura 8.5, *a* este reprezentată schema de principiu a unui contactor de curent alternativ realizat cu două tiristoare conectate în montaj antiparalel. Fiecare tiristor conduce o semiperioadă, impulsurile de conducţie sau blocare fiind date de un dispozitiv de comandă *DC*. Sarcina *L* se conectează între punctele *A* şi *B*. Pentru tensiuni mai mari, de ordinul a 500 V, se montează două tiristoare în serie pe braţ (figura 8.5, *b*). Pentru repartiţia egală a tensiunii inverse pe tiristoarele în serie se folosesc divizoarele formate din rezistenţa *R* şi capacitatea C.

Se pot realiza şi scheme de contactoare statice de curent alternativ folosind diode de putere cu siliciu conectate în punte Graetz şi un singur tiristor conectat pe diagonală. Pe cealaltă diagonală se conectează sursa de curent alternativ şi sarcina.

În cazul folosirii tiristoarelor la contactoare statice de curent continuu schema acestora este mai complexă deoarece, spre deosebire de cazul curentului alternativ, curentul întrerupt nu trece în mod natural prin valoarea zero.

Contactoarele statice prezintă o serie de avantaje cum ar fi absenţa arcului electric, fiabilitate ridicată etc. Ca dezavantaj, în afară de preţul ridicat, se poate indica capacitatea extrem de redusă de a rezista la suprasarcini şi scurtcircuite, datorită capacităţii termice extrem de reduse a tiristorilor. Din acest motiv ele necesită o protecţie împotriva scurtcircuitelor şi suprasarcinilor prin siguranţe fuzibile ultrarapide sau prin alte mijloace.

8.3. Întreruptorul automat

8.3.1. Generalităţi. Elemente constructive

Întreruptoarele automate de joasă tensiune sînt aparate de comutaţie capabile să închidă, să suporte şi să întrerupă curenţii atît în condiţii normale de funcţionare ale circuitului, cît şi în condiţii anormale, cum ar fi cele de scurtcircuit.

Întreruptoarele automate deci, pe lîngă funcţia de comutaţie a circuitelor în regim normal, mai îndeplinesc şi funcţia de protecţie a acestor circuite în condiţii anormale, cum ar fi în cazul suprasarcinilor şi în special în cazul scurtcircuitelor.

După destinaţia lor întreruptoarele automate se pot clasifica în următoarele tipuri constructive:

— întreruptoare automate pentru instalaţii de interior, de curent alternativ, de tensiuni 120—220 V, curenţi nominali 6—25 A şi curenţi de rupere de circa 1 500 A;

— întreruptoare automate pentru instalaţii de forţă, de curenţi alternativi nominali mari (25—2000 A), tensiuni 220—550 V şi curenţi de rupere de 10—50 kA;

— întreruptoare automate pentru linii electrice de curent alternativ cu curenţi de rupere pînă la 100 kA;

— întreruptoare automate ultrarapide pentru instalaţii de curent continuu.

După construcţia lor întreruptoarele se pot clasifica în două mari categorii:

— întreruptoare automate în carcasă izolantă;

— întreruptoare automate universale în execuţie deschisă.

În figura 8.6 este reprezentată schema de principiu a unui întreruptor automat de curent alternativ. Întreruptorul este prevăzut cu trei poli principali *1, 2, 3* şi trei poli auxiliari *4, 5, 6*. Acţionarea mecanică a polilor se face cu ajutorul mecanismului *11*. Pentru protecţie se folosesc: declanşatoare termice *7*, declanşatoarele electromagnetice *8*, declanşatorul de tensiune minimă *10*, sau declanşatorul cu injecţie de curent *9*. Aceste declanşatoare acţionează asupra mecanismului *11*. Cu ajutorul lor se poate obţine o anumită caracteristică de protecţie a întreruptorului. În figura 8.7 este indicată o astfel de caracteristică pentru un întreruptor cu un curent nominal de 60 A. Curba *a* corespunde acţiunii declanşatorului termic, iar curba *b* — declanşatorului electromagnetic.

Din punct de vedere constructiv un întreruptor automat de joasă tensiune cuprinde următoarele părţi principale.

a. Mecanismul care realizează acţionarea întreruptorului şi care are următoarele funcţii: menţine întreruptorul închis şi zăvoreşte forţa de declanşare; asigură declanşarea întreruptorului; asigură declanşarea liberă; asigură vitezele de închidere şi deschidere a contactelor. Aceste funcţii se realizează cu ajutorul mecanismelor cu clichet, cu genunchi sau cu acumulare de energie în resort.

b. Organul motor cu ajutorul căruia se produce energia necesară acţionării întreruptorului. Aceasta poate fi manual, dispozitiv electromagnetic, dispozitiv pneumatic, servomotor.

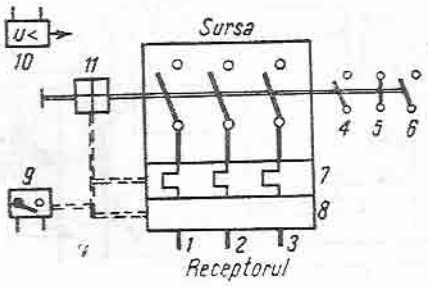


Fig. 8.6

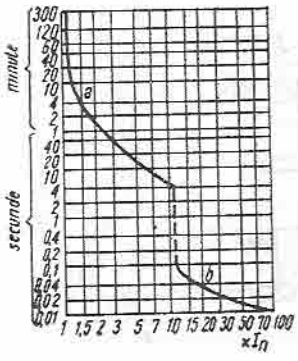


Fig. 8.7

c. Polii principali constituiți de căile de curent, contacte și camerele de stingere. O atenție deosebită o cere realizarea constructivă a contactelor și camerelor de stingere. Tipul contactului depinde de tipul întreruptorului. Astfel la întreruptoarele cu rol de selectare a defectelor, la care curenții de scurtcircuit ajung la 30—40 kA, contactele se realizează în așa fel încît forțele electrodinamice să fie antagoniste forțelor de repulsie din contact și ca urmare, forța de apăsare în contact să varieze puțin la creșterea curentului. În figura 8.8 se arată schița unor astfel de contacte. În această figură *1* și *2* sînt contacte fixe, *3* — contact mobil, iar *4* și *5* — resorturi pentru realizarea forței de apăsare între contactele fixe și contactul mobil. La întreruptoarele limitatoare de curent, care trebuie să aibă o mare viteză de deschidere a contactelor, acestea se construiesc în așa fel încît forțele electrodinamice să accelereze deschiderea. În figura 8.9 se prezintă schița unui astfel de contact. La acest tip de contact piesa mobilă *2* suportă contactul mobil *3*, care se așază pe contactul fix *1*, prin intermediul resortului *4*. La întreruptoarele care trebuie să întrerupă curenți de ordinul 10—20 kA este necesară prevederea de contacte pentru preluarea arcului electric așa cum sînt cele schițate în figura 8.10. La aceste contacte, presiunea pe contactele de arc *3, 4* se realizează cu ajutorul resortului *5* amplasat împreună cu contactul *4* pe contactul principal *2*. La deschidere se deschid mai întîi contactele principale *1, 2* și apoi contactele de arc *3, 4*.

Tipul camerelor de stingere folosite depinde de tipul și destinația întreruptorului. Se realizează tipurile: deschise, cu pene izolante, cu plăci metalice, cu bare metalice, înguste. În camerele de stingere deschise stingerea arcului se produce prin răcirea lui în contact cu aerul rece.

Ele împiedică mai ales extinderea arcului între faze și între faze și pămînt. Camerele de stingere cu pene izolante, utilizate mai ales în curent continuu, sting arcul electric prin contactul acestuia cu pene ceramice așezate transversal pe direcția arcului. Camerele de stingere cu plăci metalice folosesc principiul arcului scurt pentru stingerea arcului electric. Camerele de stingere înguste se folosesc la întreruptoare capsulate, arcul stingîndu-se prin răcire în contact cu pereții camerei.

d. Polii auxiliari sau contactele auxiliare se folosesc în circuitele secundare de comandă, semnalizare și blocaj ale întreruptorului.

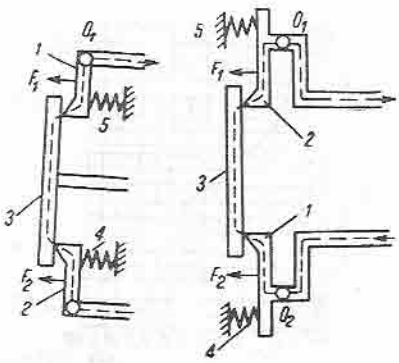


Fig. 8.8

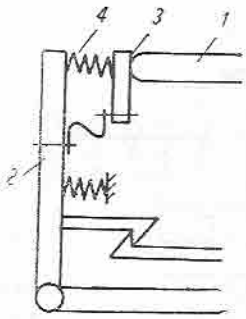


Fig. 8.9

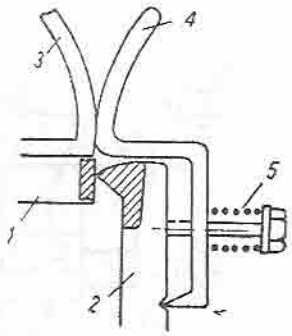


Fig. 8.10

e. Dispozitivele de protecţie sînt constituite din declanşatoare sau relee. Deosebirea între declanşatoare şi relee este aceea că declanşatorul determină un proces mecanic de dezăvorîre a unei forţe, în timp ce releul determină un proces electric de stabilire sau întrerupere a unui contact electric. Ambele sînt organe sensibile la o mărime electrică.

8.3.2. Tipuri constructive

Întreruptoarele automate de joasă tensiune se construiesc într-o mare varietate de tipuri constructive. Dintre tipurile de întreruptoare în carcasă izolantă la noi în ţară se fabrică seria ISOL. În instalaţii se găsesc şi alte serii provenite din import ca de exemplu: EA, Merlin-Gerin, A-3000, Westinghouse.

Seria de întreruptoare automate ISOL se fabrică pentru curenţi nominali de 100, 110, 250, 500, 630, 800 A, curent alternativ şi continuu.

Un întreruptor automat tip ISOL este format din următoarele părţi principale: baza, întreruptorul propriu-zis, cutia cu declanşatoare termice şi electromagnetice, carcasa.

Baza este de fapt un schelet metalic cu ajutorul căruia întreruptorul se fixează pe suport. Carcasa este din bachelită. În cazul în care întreruptorul se montează în încăperi uscate cu praf puţin, el se poate monta numai cu această carcasă de bachelită. Pentru montarea în medii cu praf şi umezeală el trebuie introdus şi într-o cutie metalică. În figura 8.11 se poate observa aspectul general al unui întreruptor automat ISOL 500.

Întreruptorul automat ISOL se fabrică atît în variantă debroşabilă, cît şi în variantă fixă. Astfel în figura 8.12 se poate urmări schiţa unui întreruptor ISOL 100 în construcţie debroşabilă, cu dimensiunile de montare şi în care *E* este întreruptorul debroşabil, iar *F* soclul fix. Modul de montare a unui astfel de întreruptor debroşabil este indicat în figura 8.13. Soclul fix *1* este fixat pe suport şi conţine contactele fixe triple. Şina *2* serveşte la ghidare. Pentru scoaterea sau introducerea întreruptorului se foloseşte

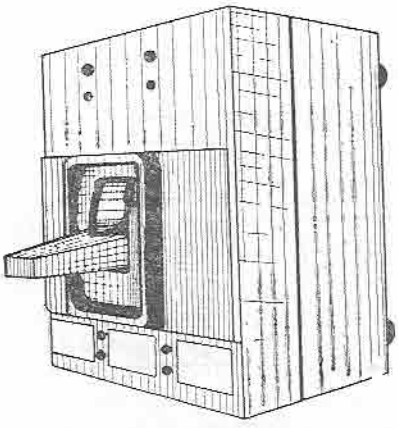


Fig. 8.11

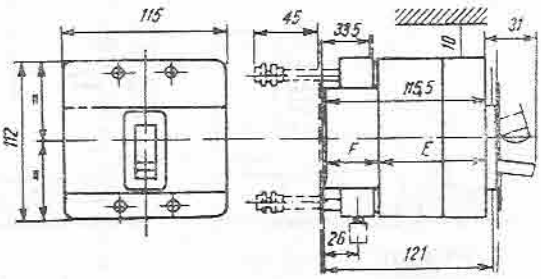


Fig. 8.12

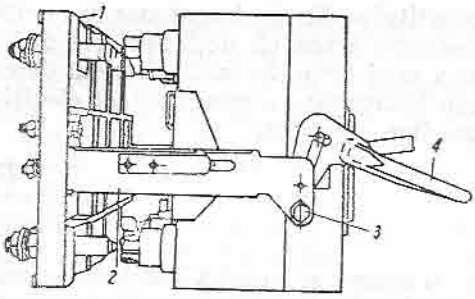


Fig. 8.13

maneta *4* împreună cu elementul *3* fixat pe şina de ghidaj. În figura 8.14 este reprezentată schiţa şi dimensiunile de montaj ale întreruptorului în execuţie fixă (ISOL 500).

De asemenea, se execută variante constructive şi din punct de vedere al amplasării bornelor de legătură: în faţă sau în spate (la cele în execuţie fixă).

Pentru acţionarea de la distanţă întreruptoarele ISOL se pot livra cu un dispozitiv constituit dintr-un motor electric monofazat.

Cutia de declanşatoare montată în spate sau în unele cazuri în partea inferioară conţine declanşatoarele termice şi electromagnetice. În cazul în care este necesară schimbarea reglajului trebuie schimbat blocul de declanşatoare. De asemenea, în anumite cazuri este necesară adăugarea unui declanşator de tensiune nulă.

La montarea unui întreruptor ISOL trebuie verificate următoarele:

— corespondenţa poziţiilor manetei de acţionare cu poziţia contactelor mobile;

— declanşarea automată a întreruptorului la extragerea din bază (cazul execuţiei debroşabile);

— funcţionarea corectă a declanşatoarelor de tensiune nulă sau de curent;

— anclanşarea în gol (fără tensiune la contactele principale) cu ajutorul motorului de acţionare de la distanţă pentru verificarea funcţionării acestuia.

Dintre tipurile de întreruptoare universale în construcţie deschisă, la noi în ţară se construiesc tipurile OTOMAX, DITA, AMT şi întreruptoare monopolare licenţă BBC-STOTZ KONTAKT.

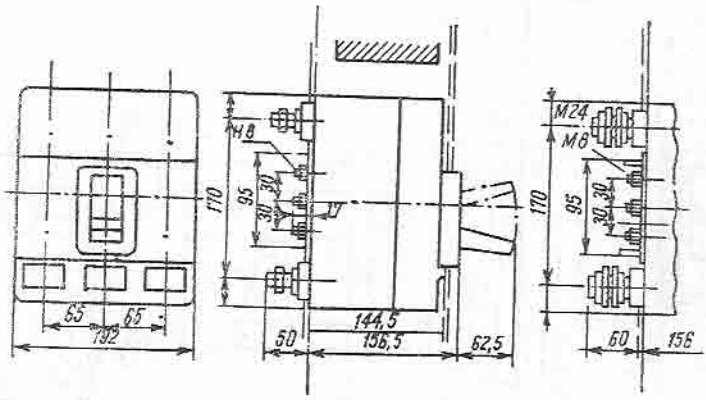


Fig. 8.14

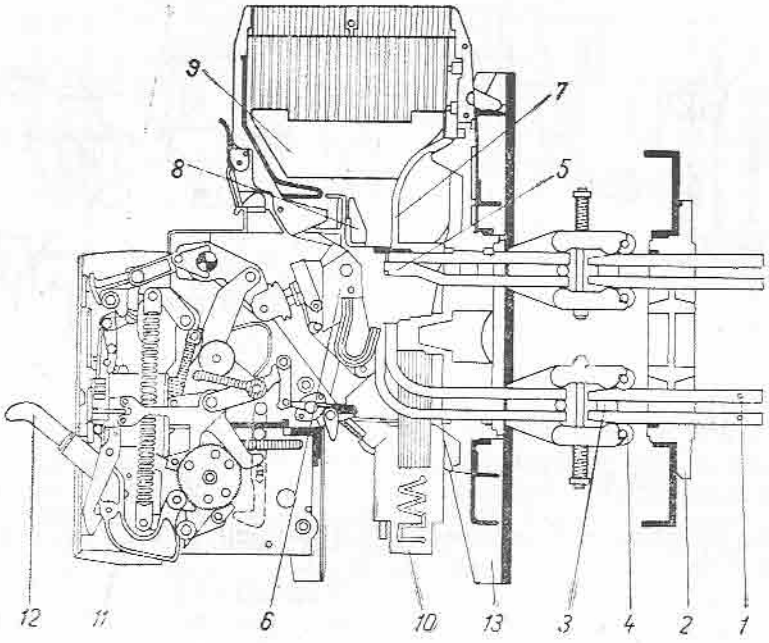


Fig. 8.15

Seria de întreruptoare OTOMAX (Licența SACE-Bergamo) se realizează pentru curenți nominali de 1000, 1600, 2000, 2500 A. Un întreruptor OTOMAX este format din următoarele părți principale (fig. 8.15): bornele fixe—*1*, soclul fix—*2* (pentru execuția debroșabilă), contactele fixe—*3* ale soclului, contactele mobile ale întreruptorului, tip rolă—*4*, care intră peste contactele fixe—*3* ale soclului, contactele principale fixe—*5*, contactele principale mobile—*6*, contactele de rupere fixe—*7*, contactele de rupere mobile—*8*, camera de stingere—*9* cu plăcuțe metalice și rețea izolantă, declanșatoarele de curent—*10*, mecanismul de acționare—*11*, maneta de armare a resorturilor—*12*, cadrul de tablă al aparatului—*13*. În afara acestor elemente întreruptorul OTOMAX mai este prevăzut cu declanșatoare de tensiune nulă și la impuls de tensiune, resorturi de anclanșare, motor electric de armare a resorturilor, paravane izolante, contacte auxiliare etc.

Întreruptorul are după cum se observă două perechi de contacte principale (fig. 8.16). În poziția închis contactele de lucru stau închise, în timp ce între contactele de rupere trebuie să existe o deschidere de 1,2...1,5 mm. Contactele de rupere au rolul ca la deschiderea contactelor de lucru să preia arcul și datorită formei lor, să îl conducă spre camera de stingere.

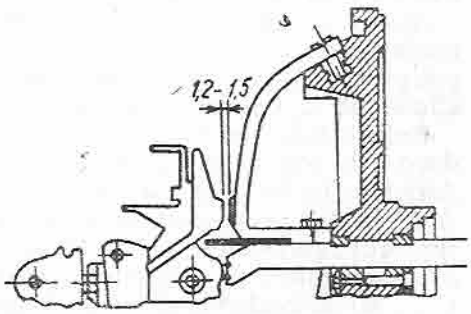


Fig. 8.16

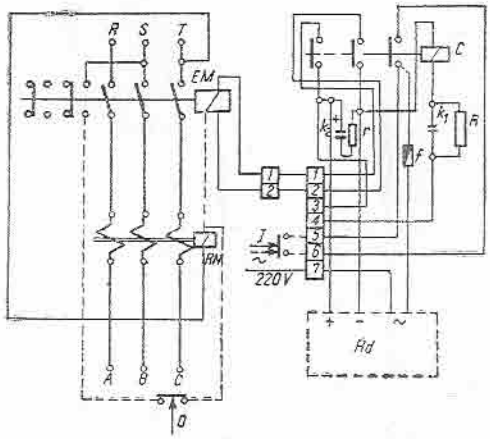


Fig. 8.17

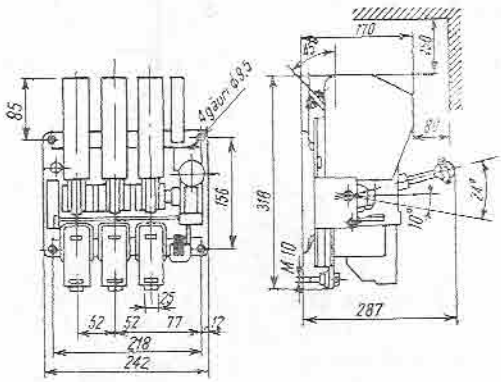


Fig. 8.18

Camera de stingere funcţionează pe principiul arcului scurt, plăcuţele metalice avînd rolul de a fragmenta arcul.

Întreruptorul OTOMAX se execută atît în variantă fixă cît şi în variantă debroşabilă. În cazul variantei debroşabile, la montare se fixează mai întîi soclul fix cu ghidajele orizontale pentru întreruptor.

Pentru protecţie, întreruptoarele OTOMAX sînt echipate cu declanşatoare termice şi electromagnetice tip *H* sau cu declanşatoare cu caracteristică în trei trepte şi cu temporizare independentă de curent tip U_{si}. Reglajul acestor declanşatoare se face cu ajutorul unor butoane şi manete prevăzute în acest scop.

Seria de întreruptoare automate AMT fabricate de Electroaparataj se realizează pentru curenţi nominali de 200 şi 400 A şi se utilizează la protecţia motoarelor şi a liniilor electrice.

În figura 8.17 este reprezentată schema electrică a unui întreruptor AMT în care *EM* este electromagnetul de acţionare, *RN*—declanşatorul de tensiune minimă, *C*—contactor de comandă, *R* şi *r*—rezistenţe de descărcare, k_1—condensator de temporizare, k_2—condensator de descărcare, *Rd*—redresorul de alimentare şi *f*—siguranţa fuzibilă.

Dimensiunile de gabarit şi montare ale întreruptoarelor AMT 200 şi 400 sînt date în figura 8.18.

Aparatele din seria AMT sînt prevăzute cu declanşator termic şi electromagnetic pe fiecare fază şi declanşator de tensiune nulă. De asemenea, se pot prevedea şi cu un sistem de acţionare de la distanţă prin electromagnet alimentat în curent continuu.

Există deosebiri în realizarea schemei electrice a întreruptoarelor AMT după cum acestea sînt folosite la protecţia motoarelor sau a liniilor electrice. Astfel în figura 8.19 este prezentată schema electrică a unui întreruptor AMT pentru protecţia motoarelor cu comandă prin electromagnet. Întreruptorul este echipat cu declanşatoare termice pentru protecţia împotriva suprasarcinilor, cu declanşatoare electromagnetice pentru protecţia împotriva scurtcircuitelor şi cu declanşator de tensiune nulă pentru protecţia împotriva scăderii tensiunii sub 0,7 U_n.

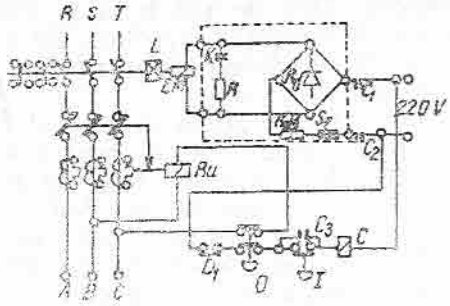


Fig. 8.19

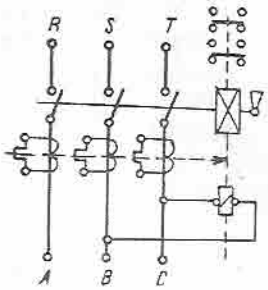


Fig. 8.20

Acţionarea la închidere se face în felul următor: prin închiderea butonului I se alimentează contactorul C care se autoreţine prin contactul C_3. Prin contactele sale principale C_1 şi C_2, contactorul C alimentează redresorul Rd excitîndu-se astfel electromagnetul EM. După ce s-a produs acţionarea, contactul D_1 temporizat la închidere şi acţionat de armătura mobilă a electromagnetului întrerupe alimentarea lui C. Contactul D_1 mai are şi rolul de a nu permite (datorită temporizării sale la închidere) reanclanşarea întreruptorului pe scurtcircuit cu ajutorul butonului I. Pentru declanşarea voită se acţionează butonul O care întrerupe alimentarea bobinei declanşatorului Ru de tensiune minimă. De asemenea, declanşarea se mai poate face şi cu ajutorul percutoarelor declanşatoarelor electromagnetice, termice şi de tensiune nulă.

În cazul acţionării manuale a întreruptoarelor AMT pentru protecţia motoarelor schema este simplă şi este prezentată în figura 8.20.

În cazul folosirii întreruptorului AMT la protecţia liniilor după schema din figura 8.21 se observă că declanşatorul de tensiune nulă a fost înlocuit cu un declanşator cu curent de lucru RD care acţionează întreruptorul atunci cînd bobina sa este parcursă de curent. Aceasta s-a realizat pentru că exploatarea nu admite declanşarea la scăderea tensiunii pe linie. În figura 8.22 este reprezentată schema de principiu a întreruptorului AMT pentru protecţia liniilor prevăzut cu comandă manuală.

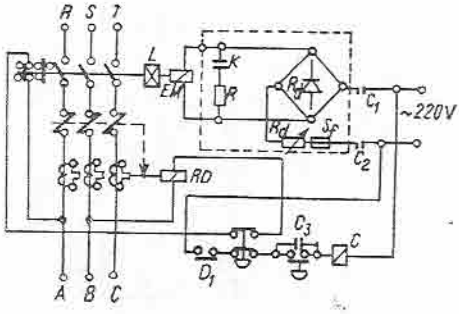


Fig. 8.21

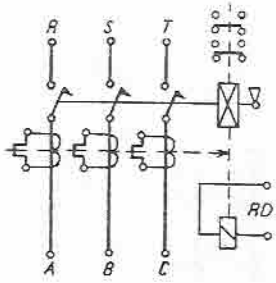


Fig. 8.22

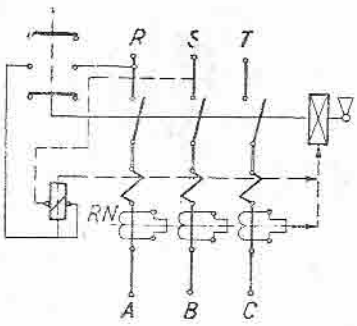


Fig. 8.23

Întreruptoarele AMT se pot livra în execuţie neprotejată sau în execuţie capsulată. În ultima variantă camerele de stingere sînt prevăzute cu un răcitor de gaze.

Întreruptorul automat DITA fabricat de Electroaparataj se realizează numai pentru curent nominal de 1000 A în două variante şi anume: cu comandă manuală şi cu comandă de la distanţă prin electromagnet de curent continuu. La fel ca întreruptorul AMT, DITA se foloseşte pentru protecţia motoarelor sau a liniilor electrice, în care caz schemele electrice diferă după locul de folosire.

Astfel pentru folosirea la protecţia motoarelor, în cazul acţionării manuale, se foloseşte schema electrică al cărei principiu de alcătuire este prezentat în figura 8.23, iar în cazul acţionării prin electromagnet—schema din figura 8.24.

În cazul folosirii la protecţia liniilor electrice schema este puţin modificată, în locul declanşatorului de tensiune fiind montat un declanşator cu curent de lucru aşa cum se vede în figura 8.25—în varianta acţionării manuale şi în figura 8.26—în varianta acţionării prin electromagnet.

După cum se observă schemele sînt asemănătoare cu cele ale întreruptorului AMT. Este echipat cu declanşatoare termice ce acţionează asupra declanşatorului de tensiune nulă şi cu declanşatoare electromagnetice pentru protecţia la scurtcircuit.

Constructiv, întreruptorul automat DITA prezintă o construcţie mai simplă. Dimensiunile sale de gabarit şi montaj sînt date în figura 8.27.

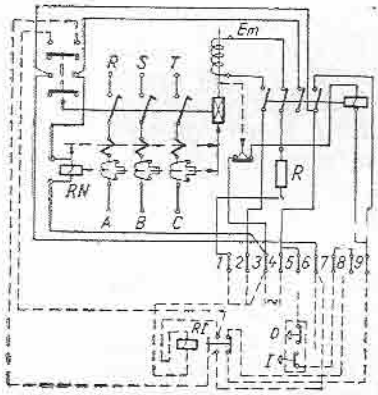


Fig. 8.24

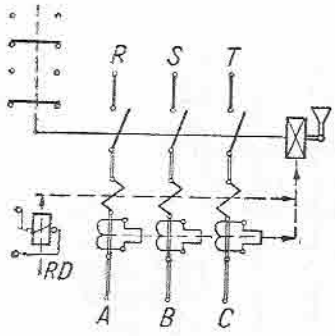


Fig. 8.25

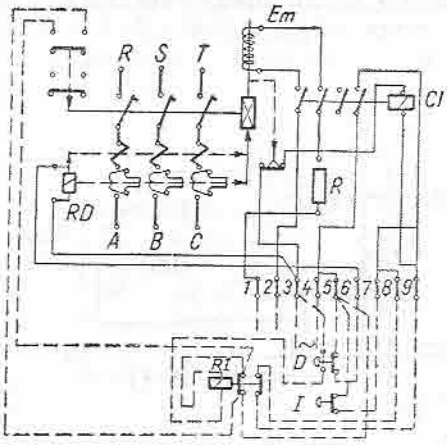


Fig. 8.26

Camerele de stingere sînt simple, de tipul deschis, motiv pentru care la montaj deasupra lor trebuie prevăzut un spaţiu de cel puţin 300 mm. Acolo unde este posibil între faze trebuie prevăzute paravane izolante.

Din prezentarea tipurilor constructive de pînă acum se poate remarca tendinţa de a se fabrica un tip de întreruptor de bază adaptabil la numeroase utilizări (deconectarea transformatoarelor, condensatoarelor, motoarelor, liniilor electrice) cu ajutorul declanşatoarelor termice şi electromagnetice constituite în blocuri separate ce pot fi schimbate şi reglate pentru a servi scopul propus.

În afară de tipurile constructive prezentate, care se construiesc la noi în ţară, o altă clasă de întreruptoare o constituie întreruptoarele de curent alternativ *ultrarapide.*

Se consideră că un întreruptor este *ultrarapid* dacă durata sa de acţionare este de ordinul 3—15 ms. Pentru a se putea realiza astfel de timpi de acţionare aceste întreruptoare sînt prevăzute cu dispozitive de zăvorîre a forţei de declanşare şi declanşatoare adecvate capabile de durate reduse de declanşare.

Astfel la dispozitivele de zăvorîre, ţinînd seama de faptul că la curenţi de 500-5000 A forţa de declanşare necesară acţionării atinge cîteva tone forţă, este necesar să se realizeze piese în mişcare cu masă cît mai mică şi frecări cît mai mici. Dintre dispozitivele de zăvorîre folosite la întreruptoarele ultrarapide se pot enumera:

— semiax, cu mişcare de rotaţie şi montaj pe rulmenţi (fig. 8.28, *a*);
— genunchi, cu axe pe rulmenţi (fig. 8.28, *b*);
— pîrghii cu role şi axe pe rulmenţi (fig. 8.28, *c*);
— role excentrice de diametre diferite (fig. 8.28, *d*);
— fir fuzibil; se topeşte la trecerea unui impuls de curent (fig. 8.28, *e*);
— cartuş explozibil care distruge mecanic o bară metalică şi care este explodat cu ajutorul unui fir incandescent (fig. 8.28, *f*).

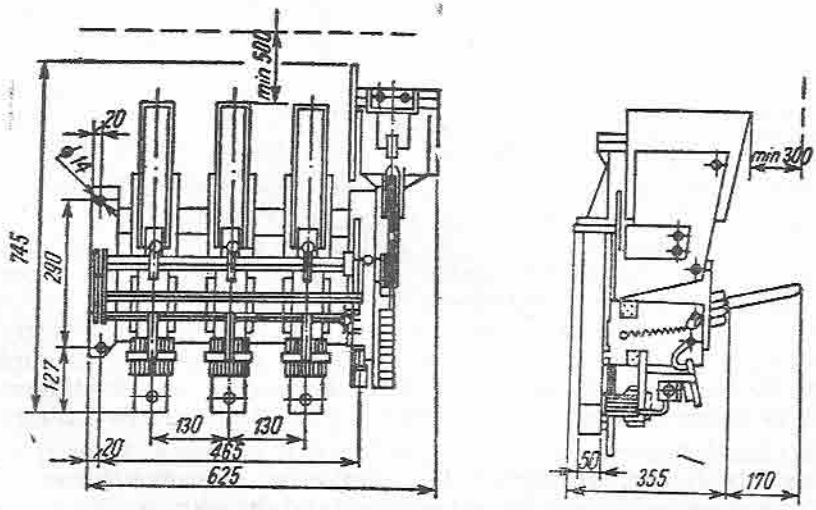


Fig. 8.27

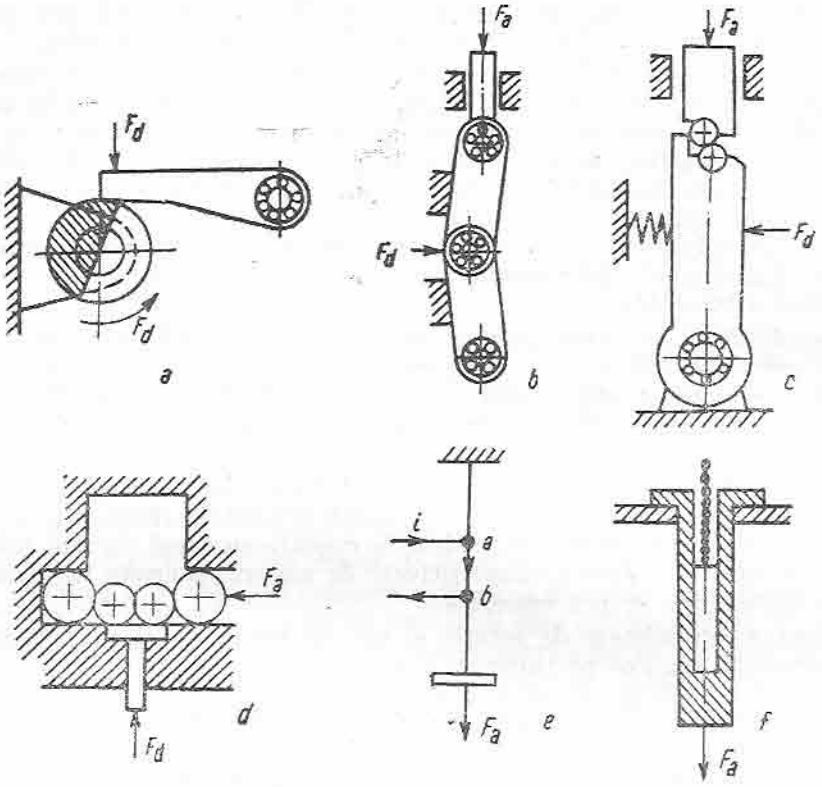


Fig. 8.28

Cu F_a şi F_d s-au notat forţele de acţionare şi declanşare din figura 8.28.

Dintre declanşatoarele folosite la întreruptoarele ultrarapide se pot enumera:

— declanşator cu electromagnet de reţinere;
— declanşator cu magnet permanent;
— declanşator electrodinamic.

În figura 8.29 este prezentată construcţia unei întreruptor ultrarapid cu cartuş exploziv tip Calor Emag. Calea de curent se realizează prin bornele *A* şi *B*, contactele principale *1* şi *2*, punţile *3*. În poziţia închis, axul elastic *8* este menţinut torsionat de pîrghia *5* care conţine cartuşul exploziv *5*. Cînd cartuşul explodează, la primirea unui impuls de curent dat de o schemă electrică special realizată pentru acest scop, prin ruperea pîrghiei *5*, bara *8* deschide contactele *1* şi *2* şi imediat după ele contactul de arc *7*. Arcul electric este împins într-o cameră de stingere. La un astfel de întreruptor se ajunge la un timp de acţionare de 1,2 ms.

Tot în clasa întreruptoarelor ultrarapide pot fi incluse şi întreruptoarele limitatoare de curent. Principiul de funcţionare a acestor întreruptoare constă în diminuarea valorii de vîrf a curentului de scurtcircuit prin introducerea unei rezistenţe mari a arcului electric mult lungit în camera de

stingere. Prin funcţionarea unui declanşator rapid se separă contactele înainte de o nouă creştere a valorii instantanee a curentului.

În afară de folosirea unor dispozitive de zăvorîre şi declanşatoare adecvate aşa cum s-a arătat la întreruptoarele ultrarapide se mai utilizează în acest caz şi eforturile electrodinamice şi de repulsie a contactelor. Acest lucru s-a mai prezentat în paragraful 8.3.1.

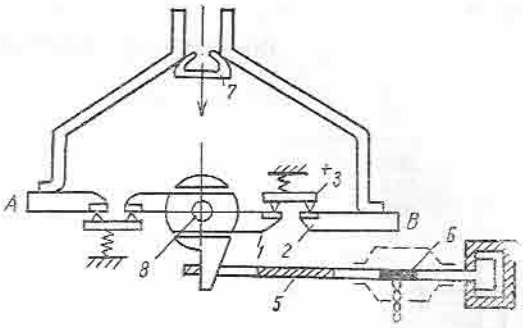


Fig. 8.29

Pentru acţionarea şi protecţia circuitelor de curent continuu se folosesc întreruptoare ultrarapide de curent continuu. Deoarece aceste întreruptoare de curent continuu s-au dezvoltat mai ales pentru protecţia surselor de curent continuu împotriva efectelor termice ale curenţilor de scurtcircuit a fost necesară o durată de acţionare redusă. Într-adevăr, ţinînd seama de capacitatea termică redusă a redresoarelor cu vapori de mercur şi mai ales cu dispozitive semiconductoare, durata de deconectare a curenţilor de scurtcircuit trebuie să fie extrem de redusă. Practic, în cazul întreruptoarelor de curent continuu ultrarapide această durată este de ordinul 3—10 ms.

Ca o caracteristică a întreruptoarelor de curent continuu este şi folosirea dispozitivului de suflaj magnetic necesar pentru introducerea arcului electric în camera de stingere.

8.4. Siguranţe fuzibile de joasă tensiune

Siguranţele fuzibile sînt cele mai simple aparate de protecţie folosite foarte mult în instalaţiile de joasă tensiune. Bazate pe acelaşi principiu ca şi siguranţele fuzibile de înaltă tensiune, rolul lor este de a întrerupe un circuit, atunci cînd curentul prin acesta depăşeşte o anumită valoare, prin arderea unuia sau mai multor elemente fuzibile concepute şi calibrate în acest scop.

Realizate într-o mare varietate de tipuri constructive, siguranţele fuzibile se pot totuşi clasifica în trei categorii principale şi anume:

— siguranţe fuzibile de mare putere de rupere folosite în instalaţii industriale pentru curenţi nominali de 100—1000 A şi putînd rupe curenţi de zeci de kiloamperi;

— siguranţe fuzibile cu filet folosite în instalaţii industriale şi în domeniul casnic pentru curenţi nominali de 15—100 A şi putînd rupe curenţi pînă la 33 kA;

— siguranţe fuzibile miniatură folosite la aparate electrice (redresoare, aparate radio şi TV etc.) pentru tensiuni sub 550 V, curenţi nominali de 0,1—10 A şi putînd rupe curenţi pînă la 2 kA.

Tabelul 8.1

Capacitățile de rupere ale siguranțelor MPR

I_n [A]	U_n [V]	cos φ	I_r [kA]
200	500	0,3	15
315	500	0,3	25
630	500	0,3	230

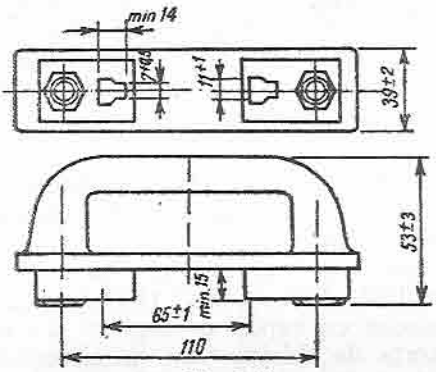


Fig. 8.30

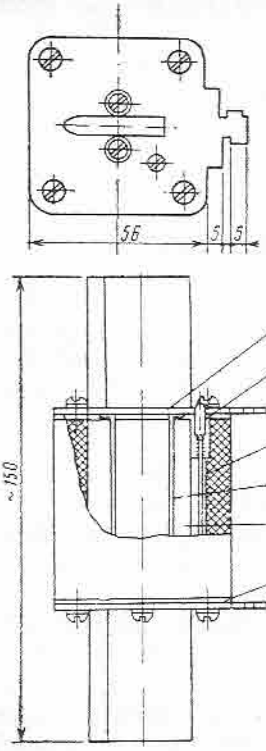


Fig. 8.31

Siguranțele fuzibile de mare putere de rupere notate, în general, cu inițiale MPR sînt de o mare importanță tehnică și economică. Ele sînt construite special ca să poată întrerupe curenții mari de scurtcircuit, în special, pe baza efectului de limitare. În tabelul 8.1 sînt date capacitățile de rupere ale unor siguranțe MPR. O siguranță MPR, de altfel ca toate celelalte tipuri, este constituită din două părți principale : soclul și elementul înlocuitor sau patronul fuzibil. În plus, siguranțele MPR mai au un dispozitiv de manevră format dintr-un mîner izolant (fig. 8.30) cu ajutorul căruia se realizează introducerea și scoaterea patronului fără pericol de electrocutare.

În figura 8.31 este prezentat patronul fuzibil al unei siguranțe MPR. Elementul fuzibil *1* este realizat, de obicei, din bandă de argint cu o lățime de 4—10 mm și o grosime de 0,1—0,5 mm. Un patron poate conține 1—6 asemenea benzi montate în paralel. Acest element fuzibil este construit în așa fel încît să asigure funcționarea atît la suprasarcină cît și la scurtcircuit (fig. 8.32). Astfel, pentru a funcționa la scurtcircuite se reduce secțiunea benzii la 0,12—0,25 din secțiunea nediminuată, prin practicarea unor găuri spre extremitățile benzii. Pentru a efectua protecția la suprasarcină partea centrală a benzii primește o anumită cantitate de aliaj ușor fuzibil.

Cuțitele de contact ale siguranței MPR realizate sub formă de bare plate sînt solidare cu capacele frontale *2*. Banda fuzibilă se află în interiorul unei anvelope *4* de porțelan, material plastic sau steatit umplută cu nisip de cuarț *5*. Pentru etanșare se folosește garnitura

de azbest *6*. Pentru indicarea funcționării siguranței se folosește elementul *3*.

Funcționarea siguranței MPR constă în topirea benzilor de argint în masa de nisip de cuarț și deci întreruperea circuitului. Așa cum s-a mai spus, această topire poate avea loc la scurtcircuit sau la suprasarcină. La scurtcircuit, elementul fuzibil se topește în zona de secțiune minimă, iar arcul electric este stins prin răcire în contact cu nisipul de cuarț. Caracteristic funcționării la scurtcircuit a siguranței MPR este procesul de limitare a curentului de scurtcircuit ca durată și amplitudine. La suprasarcină, topirea benzii nu mai are loc în zona de secțiune minimă, ci în zona aliajului ușor fuzibil prin efectul metalurgic. În acest caz siguranța nu mai are efect limitativ.

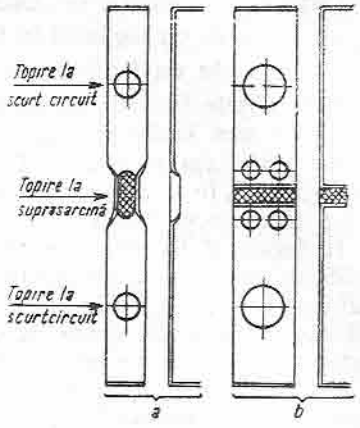


Fig. 8.32

Din cauza importanței lor, siguranțele MPR au fost standardizate pe plan internațional din punct de vedere al montajului, astfel că în aceleași socluri se pot monta patroane fuzibile de fabricații diferite. Soclul (fig. 8.33) este compus dintr-o piesă ceramică și două furci de contact ce servesc și ca borne de legătură. Pentru a se realiza un contact cît mai bun furcile sînt strînse cu ajutorul unui resort spiral.

Întotdeauna siguranțele fazelor se așază în poziție verticală, pentru că montajul orizontal poate avea influențe defavorabile din punct de vedere termic, iar în cazul spargerii unui patron gazele pot produce scurtcircuite pe fazele vecine.

La montarea mai multor siguranțe în cutii sau panouri închise trebuie să se țină seama de faptul că temperatura este mai mare și influențează caracteristica de fuziune și temperatura bornelor și a izolației conductoarelor de legătură.

Siguranțele fuzibile cu filet sînt foarte folosite într-un mare număr de sectoare începînd cu cel casnic și terminînd cu cel al producerii energiei electrice. Constructiv aceste siguranțe sînt alcătuite din trei părți distincte: soclul, capacul și patronul fuzibil.

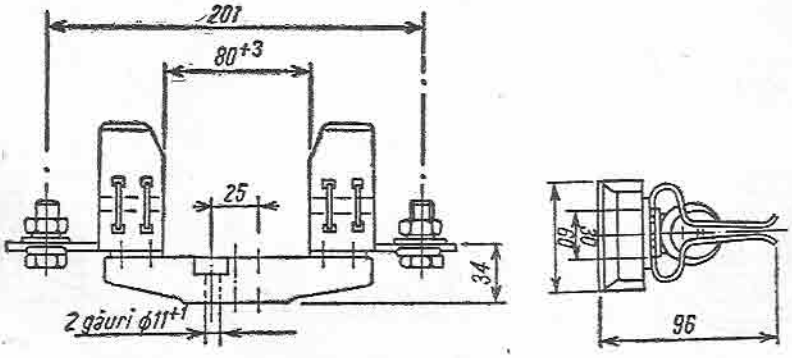


Fig. 8.33

După tipul soclului se disting două tipuri de siguranţe cu filet şi anume:

— cu soclu cu legături în faţă tip *LF*;

— cu soclu cu legături în spate tip *LS*.

Siguranţele fuzibile cu socluri tip *LF* sînt destinate a fi montate pe plăci metalice sau izolante, bare sau profile, legăturile conductoarelor făcîndu-se prin faţa panoului. Tipul *LF* are un capac de protecţie a bornelor de legătură, în timp ce tipul *LFi* nu are un astfel de capac, bornele de legătură fiind neprotejate.

În figura 8.34 este reprezentat un soclu pentru siguranţe *LF*, iar în figura 8.35 un soclu pentru siguranţe *LFi*. Există o serie de socluri de siguranţă *LF* sau *LFi* de tip mignon folosite pentru protecţia circuitelor de comandă sau în care pot apare curenţi de scurtcircuit limitaţi. În figura 8.36 este reprezentat un soclu *LF* tip mignon.

Siguranţele fuzibile cu socluri tip *LS* sînt destinate a fi montate numai pe panouri izolante din marmură sau azbociment. La aceste socluri, picioarele soclului servesc atît la fixarea soclului pe panou, cît şi ca borne de legătură în spatele panoului. În figura 8.37 este reprezentat un soclu pentru o siguranţă *LS*. Se observă pe picioarele soclului două piuliţe, una servind pentru fixarea soclului pe panou, cealaltă — împreună cu două şaibe — servind la realizarea conexiunii cu conductorul de legătură.

Pentru toate aceste tipuri de siguranţe *LF*, *LFi*, *LS* se foloseşte acelaşi tip de capac filetat prezentat în figura 8.38. Acest capac serveşte la fixarea patroanelor în soclurile siguranţelor. Pentru instalaţiile supuse la vibraţii aceste capace se execută cu partea filetată striată pentru a împiedica deşurubarea.

Pentru siguranţele *LF* tip mignon capacul diferă şi este prezentat în figura 8.39.

Patroanele fuzibile sînt identice pentru diversele tipuri de socluri, dar diferă în funcţie de curent. Doar pentru siguranţele *LF* tip mignon există un alt tip de patron fuzibil (fig. 8.40) diferit de patroanele pentru celelalte tipuri. În figura 8.41, *a* este reprezentat un patron fuzibil de 2*A*, iar în fi-

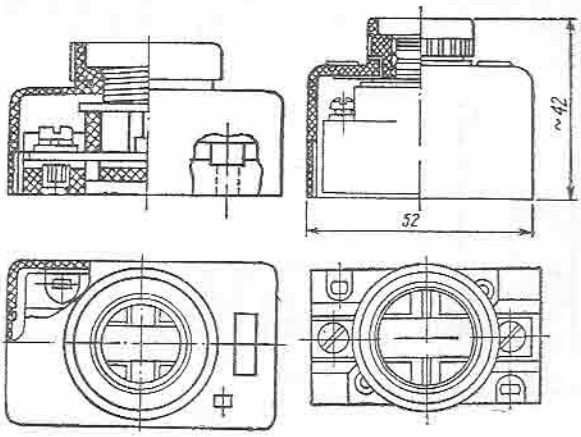


Fig. 8.34

Fig. 8.35

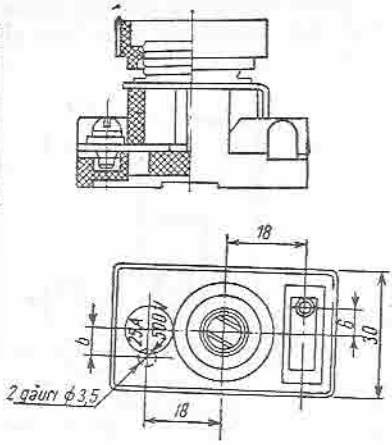


Fig. 8.36

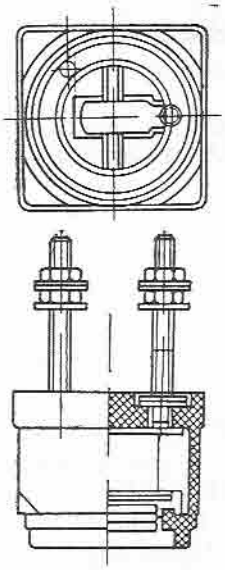


Fig. 8.37

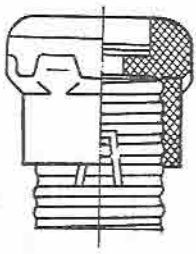


Fig. 8.38

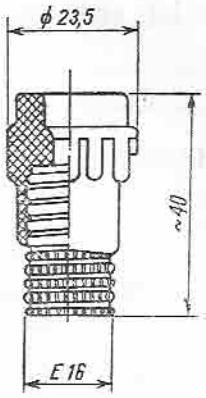


Fig. 8.39

gura 8.41, *b* un patron fuzibil de 6—63 A. Pentru 100 A patronul fuzibil diferă ca formă. Patroanele fuzibile sînt prevăzute cu semnalizatoare colorate care cad la arderea fuzibilului.

Pentru protecţia redresorului cu semiconductoare se utilizează un patron fuzibil ultrarapid.

Siguranţele miniatură se utilizează la aparate electrice ca redresoare, radio, TV şi nu vor mai fi tratate în acest paragraf.

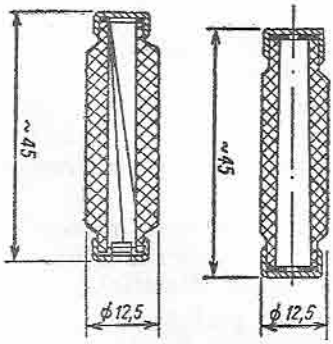


Fig. 8.40

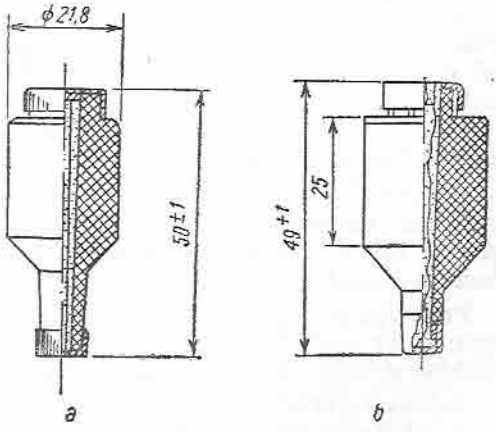


Fig. 8.41

8.5. Condiţiile de exploatare a aparatelor electrice de joasă tensiune

Prin condiţii de exploatare se înţeleg atît condiţiile de funcţionare impuse de regimurile de lucru ale instalaţiei electrice, cît şi condiţiile impuse de mediul ambiant.

8.5.1. Condiţii impuse de mediu

Condiţiile impuse de mediu cuprind:

1. factorii climatici care sînt specifici zonelor climatice ale globului pămîntesc;

2. factorii tehnologici care sînt specifici anumitor procedee de lucru.

1. Factorii climatici. Pentru a asigura o comportare corespunzătoare în exploatare, aparatele electrice se protejează împotriva acţiunii factorilor climatici. Măsurile de protecţie climatică cuprind: dimensionarea aparatului, alegerea materialelor, protecţia de suprafaţă şi tehnologia de execuţie a produsului. Ele se stabilesc în funcţie de natura şi gradul solicitărilor climatice.

Tipurile de protecţie climatică sînt:

TH — protecţia contra actiunii factorilor climatici din climatul cald-umed;

TA — protecţia contra acţiunii factorilor climatici din climatul cald-uscat;

F — protecţia contra acţiunii factorilor climatici din climatul rece.

Corespunzător condiţiilor de folosire, fiecare tip de protecţie climatică se împarte în trei categorii:

— categoria *I* — pentru produse folosite în aer liber;

— categoria *II* — pentru produse folosite în spaţii exterioare acoperite şi care nu sînt supuse acţiunii directe a radiaţiilor solare şi nici precipitaţiilor atmosferice;

— categoria *III* — pentru produse folosite în spaţii deschise şi care sînt supuse variaţiilor bruşte de temperatură ale mediului ambiant, acţiunii directe a radiaţiilor solare, precipitaţiilor atmosferice şi acţiunii nisipului.

Ţara noastră are o climă temperată (normală). Factorii climatici caracteristici regiunilor temperate sînt indicaţii în tabelul 8.2.

2. Factorii tehnologici. În afara factorilor climatici aparatele trebuie protejate contra factorilor tehnologici ce provin din procesele de fabricaţie şi sînt specifici anumitor instalaţii. În tabelul 8.3 sînt prezentaţi diverşi factori şi instalaţiile în care se produc de obicei.

Prezenţa factorilor tehnologici face ca măsurile luate pentru protecţia aparatelor electrice să fie sporite, chiar dacă acestea funcţionează în spaţii închise şi deci nu sînt supuse acţiunii directe a factorilor climatici.

Acţiunea prafului. Dintre factorii consemnaţi mai sus praful are o acţiune hotărîtoare în exploatarea aparatelor electrice. Prezenţa lui, fie ca factor climatic, fie ca factor tehnologic poate produce o serie de avarii grave.

Tabelul 8.2

Factori climatici caracteristici țării noastre

Factori climatici	Valori	Prezență
Temperatura limită minimă a aerului	−40 °C	
Temperatura minimă medie anuală	−30 °C	
Temperatura medie anuală a aerului	+5...+15 °C	
Temperatura max. medie anuală	+35 °C	
Temperatura limită max. a aerului	+40 °C	
Temperatura maximă medie lunară a aerului pentru umiditatea relativă 80%	+20 °C	
Umiditatea relativă a aerului	65% ± 15% la 20 °C	
Limita minimă a umidității relative a aerului la 40 °C	0	
Rouă		rar
Aer salin		pe alocuri
Furtuni		rar
Nisip și praf		pe alocuri
Ploi torențiale		rar
Chiciură		pe alocuri
Reptile și rozătoare		rar

Tabelul 8.3

Factori tehnologici și instalațiile în care se produe

Factorii tehnologicii	Instalația în care apar
Picături de apă	Spălătorii, centrale termice, instalații de răcire
Umiditate ridicată	Spălătorii, uscătorii, instalație chimică, instalație de răcire
Praf	Industria ceramică, ciment, turnătorie, mine, morărit
Pulbere conductoare	Cazangerii, laminoare, turnătorii, mine
Vapori corosivi	Industria chimică, instalații cuprinzînd acumulatoare, instalații pe nave maritime
Lovituri mecanice	Mine, industria prelucrătoare, industria metalurgică

Tabelul 8.4

Defecte datorate prafului şi metode de remediere a lor

Denumirea defectului	Metode de remediere
Blocarea pieselor în mişcare	Spălarea cu benzină şi ungerea cu vaselină
Întreruperea contactului electric	Curăţirea pieselor de contact cu benzină
Vibraţii la electromagneţii de curent alternativ	Curăţirea feţelor polare cu o cîrpă moale
Alterarea uleiului destinat stingerii arcului electric	Centrifugarea sau înlocuirea uleiului de transformator
Încălzirea excesivă a aparatului	Curăţirea de praf a suprafeţelor de răcire
Conturnare pe suprafeţele izolante	Curăţirea şi lăcuirea suprafeţelor pieselor izolante

Pentru sistematizare s-au indicat în tabelul 8.4 defectele ce pot apărea datorită prafului, precum şi modul de remediere a lor.

În afară de măsurile indicate mai sus este necesar să se revizuiască periodic calitatea garniturilor de etanşare, precum şi strîngerea şuruburilor capacelor.

Acolo unde praful apare în exces se vor lua măsuri speciale ca:

— dubla protecţie a aparatelor prin închiderea în dulapuri etanşe montate în camere închise;

— introducerea aparatelor în camere închise în care se creează o suprapresiune folosind aer purificat;

— suflarea periodică cu aer comprimat (săptămînal sau lunar) a aparatelor electrice montate pe panouri.

Acţiunea apei. Acţiunea apei se manifestă în două moduri principale:

— corodarea pieselor metalice;

— scăderea rezistenţei de izolaţie.

Pentru a împiedica acţiunea apei sînt necesare următoarele măsuri:

— vopsirea periodică a suprafeţelor metalice protejate prin vopsire; pentru aceasta se va curăţa în prealabil suprafaţa ce urmează a fi vopsită şi se vor folosi de preferinţă vopsele de cuptor, care asigură o protecţie mai eficace, iar în lipsa cuptorului de uscare se vor folosi vopsele pe bază de nitroemail (duco);

— ungerea periodică cu vaselină neutră a pieselor metalice protejate prin acoperiri galvanice;

— verificarea şi înlocuirea garniturilor de etanşare necorespunzătoare;

— lăcuirea pieselor izolante supuse acţiunii umidităţii;

— înlocuirea pieselor izolante supuse acţiunii umidităţii;

— înlocuirea pieselor izolante din materiale organice (pertinax, textolit, bachelită), cu piese din materiale anorganice (sticlotextolit, mică, ceramică)

În instalaţiile unde apare umiditatea excesivă se vor lua în plus o serie de măsuri speciale ca de exemplu:

— legarea la pămînt a carcaselor metalice;

— ventilarea încăperilor în care se află montat aparatajul electric;
— montarea aparatului electric într-o încăpere separată cu grad de umiditate redusă;
— folosirea aparatelor electrice cu carcase din mase plastice. Aceste aparate au pe lîngă o rezistenţă sporită la umiditate şi o dublă izolaţie electrică (izolaţia proprie a aparatului plus carcasa izolantă).

8.5.2. Condiţii impuse de regimul de lucru al instalaţiei

Regimul de lucru al instalaţiei poate impune luarea de măsuri speciale pentru a împiedica deteriorarea prematură a aparatelor electrice aflate în exploatare.

Frecvenţa şi durata de acţionare. Folosirea aparatelor la frecvenţe de acţionare mari peste 600 de acţionări pe oră — impune luarea unor măsuri speciale ca, de exemplu:
— ungerea periodică, a pieselor în mişcare, cu vaselină tehnică naturală;
— montarea de amortizoare de cauciuc care să reducă şocul de anclanşare;
— reglarea forţei antagoniste astfel ca aceasta să nu fie sub 50% din forţa electromagnetului de acţionare;
— verificarea periodică a uzurii elementelor de ghidaj şi amortizare şi înlocuirea lor în caz de uzură;
— montarea dispozitivelor de descărcare (rezistenţă, condensator, diodă) la bornele de curent continuu, pentru a evita suprasolicitarea izolaţiei în cazul apariţiei supratensiunilor;
— verificarea uzurii contactelor şi înlocuirea lor cu piese de contact cu rezistenţă mare la uzură; argint cu oxid de cadmiu sinterizat, argint cu nichel, argint cu cupru;
— rectificarea periodică a feţelor polare la electromagneţii de curent alternativ;
— verificarea strîngerii şuruburilor de fixare a aparatului şi conductoarelor de legătură.

Aparatele care au frecvenţă redusă de acţionare au o durată de acţionare mare mergînd pînă la 100%. Aceste aparate pot sta cuplate zile, luni sau chiar ani fără a face o singură manevră.

În această situaţie se impun următoarele măsuri în exploatare:
— verificarea şi curăţirea periodică a contactelor electrice, în special a celor de cupru sau alamă care se pot oxida în timp;
— verificarea încălzirii bobinelor şi circuitelor magnetice şi înlocuirea lor în cazul depăşirii temperaturii admise;
— verificarea funcţionării mecanismelor de anclanşare şi declanşare;
— verificarea reglajului releelor: termice, electromagnetice şi de tensiune nulă;
— curăţirea izolaţiei de depuneri de praf, prin suflare cu aer;
— curăţirea de rugină şi ungerea pieselor în mişcare.

Uzura electrică sub sarcină nominală. Aparatele electrice supuse unei uzuri electrice datorită frecvenţei mari de conectare sînt releele intermediare

şi contactoarele. La aceste aparate se impune luarea de măsuri pentru a asigura o funcţionare continuă fără deranjamente. Dintre acestea mai importante sînt:

— înlocuirea contactelor atunci cînd acestea au ajuns la jumătate din dimensiunea lor iniţială, sau cînd cursa în contact (din momentul atingerii contactelor şi pînă la sfîrşitul cursei) a scăzut sub 1 mm;

— curăţirea periodică de fum şi picături de metal a camerelor de stingere;

— înlocuirea imediată a camerelor de stingere sparte;

— înlocuirea bobinelor a căror temperatură depăşeşte valorile admise;

— verificarea şi înlocuirea legăturilor flexibile de contact la care sînt rupte mai multe de 1/20 din numărul total de fire sau lamele;

— înlocuirea resorturilor ce poartă urme de arc electric (ciupituri din material);

— strîngerea periodică a bornelor de legătură.

La întreruptoarele automate uzura electrică sub sarcină este mai redusă, deoarece şi acţionarea lor este mai rară. Totuşi pentru buna funcţionare a lor se recomandă următoarele:

— înlocuirea contactelor atunci cînd uzura lor depăşeşte 1/3 din grosimea contactului sau cînd cursa în contact a scăzut sub 1,5 mm;

— verificarea periodică a forţei de apăsare pe contact şi eventuala schimbare a resorturilor slăbite;

— curăţirea periodică a aparatului de praf şi urme produse de arcul electric (fum, metalizare, picături de metal).

Capacitatea de rupere a arcului electric. Întreruptoarele automate şi siguranţele fuzibile asigură protecţia instalaţiilor electrice împotriva efectelor scurtcircuitelor. Pentru a asigura, la întreruptoarele automate, păstrarea în timp a unei capacităţi de rupere corespunzătoare, se impun următoarele măsuri:

— verificarea periodică a stării contactelor şi presiunii pe contact;

— înlocuirea contactelor de rupere după 3...4 întreruperi pe curenţi de scurtcircuit;

— evitarea anclanşării repetate pe curenţi de scurtcircuit;

— folosirea aparatelor numai cu camere de stingere în bună stare;

— curăţirea atentă a contactelor şi camerelor de stingere după fiecare întrerupere pe un curent de scurtcircuit.

În cazul siguranţelor fuzibile se iau următoarele măsuri:

— înlocuirea patroanelor arse cu altele noi calibrate de fabrica producătoare; este interzisă utilizarea patroanelor reparate cu liţă;

— prevederea unor paravane între faze pentru a evita scurtcircuitul în cazul spargerii unui patron.

Capitolul IX

RELEE ŞI DECLANŞATOARE

9.1. Generalităţi

Releele, declanşatoarele, precum şi o serie întreagă de scheme şi dispozitive cu funcţiuni similare se folosesc pe scară largă în protecţia instalaţiilor energetice împotriva celor mai diverse tipuri de defecte. Se pot defini ca acele elemente la care, atunci cînd mărimea sau mărimile de intrare variază în anumite limite, mărimea de ieşire îşi modifică starea iniţială. Releele şi declanşatoarele se realizează într-o mare varietate de tipuri care ţine seama de diversitatea defectelor, de multitudinea tipurilor de instalaţii şi de importanţa fiecărui element protejat.

În cea mai mare parte a cazurilor mărimea sau mărimile de intrare sînt de natură electrică. Deosebirea între relee şi declanşatoare constă în faptul că în timp ce la relee modificarea mărimii de ieşire constă în comutarea unui circuit electric, la declanşatoare modificarea mărimii de ieşire constă în acţiunea mecanică asupra unui alt element, de exemplu, dezăvorîrea forţei de declanşare a unui întreruptor. Ca urmare declanşatoarele sînt folosite într-un număr mai restrîns de cazuri, de regulă, în construcţia unor întreruptoare de joasă tensiune. Releele în schimb au o foarte mare utilizare, practic, toate schemele de protecţie ale instalaţiilor electrice realizîndu-se cu ajutorul releelor.

9.2. Relee

Aşa cum s-a arătat mai sus releele sînt elemente care, atunci cînd mărimile de intrare variază în anumite limite, comută unul sau mai multe circuite electrice. Se pot deosebi relee cu contacte, relee fără contacte şi relee combinate.

Din categoria releelor cu contacte fac parte acele relee care ca urmare a variaţiei unei mărimi la intrare îşi deplasează un element mobil care închide, deschide sau comută contacte electrice. În categoria *releelor fără contacte* intră *releele electronice* care transmit variaţiile mărimilor de intrare la ieşire prin mijloace electronice, fără contacte şi *releele statice* care transmit la ieşire variaţiile mărimilor de intrare în afara limitelor impuse, prin mijloace magnetice sau electrice, fără contacte (ex. amplificatoare magnetice). Releele combinate conţin şi elemente cu contacte şi elemente fără contacte.

Clasificarea releelor se poate face după mai multe criterii: după principiul de funcționare, după natura și felul mărimii sau mărimilor de intrare, după modul de amplasare în schemă etc. Astfel, după principiul de funcționare, releele se clasifică în relee electromagnetice, relee de inducție, relee electrodinamice, relee termice, relee eletronice, relee de gaze etc.

După felul mărimii controlate, releele se împart în: relee de curent, relee de tensiune, relee de putere, relee de impedanță, relee de frecvență, relee de unghi de defazaj, relee de temperatură, relee de gaze etc. În raport cu locul de montare în schemă releele pot fi primare sau secundare. Releele primare controlează în mod direct mărimea supravegheată, în timp ce releele secundare o controlează prin intermediul unor dispozitive auxiliare (ex. transformatoare de măsură). Se mai pot face și alte clasificări ale releelor, dar indiferent de categoria sau principiul folosit la realizarea diferitelor tipuri de relee, există o serie de proprietăți comune tuturor acestora, determinate de cerințele impuse de instalațiile în care funcționează. Printre cele mai importante sînt: capacitatea de comutare a contactelor, consumul propriu al releului, precizia și coeficientul de revenire.

Capacitatea de comutare a releelor este o proprietate care caracterizează un releu după posibilitatea de a comuta circuite electrice de o anumită natură și de o anumită putere.

Caracterizarea cantitativă printr-un indice sau printr-o valoare a capacității de comutare a contactelor unui releu, deci compararea diferitelor tipuri de relee după acest criteriu, este foarte dificilă. O măsură a acestei capacități de comutare a contactelor este sarcina electrică pe care acestea o pot „comuta" de un număr foarte mare de ori, fără a suferi o dereglare sau o uzură anormală; aceasta se numește putere comutabilă sau putere de rupere a contactelor.

Capacitatea de comutare a contactelor unui releu este influențată de factori interni, care depind de construcția releului și de factori externi, care depind de natura circuitului în care se efectuează comutarea. Această influență este evident diferită, după cum contactele trebuie să închidă sau să deschidă circuitul respectiv.

Factorii interni cei mai importanți sînt: presiunea contactelor, cursa și viteza contactului mobil, materialul și forma contactelor și altele.

Factorii externi (natura tensiunii și a circuitului în care se efectuează comutarea) au o influență hotărîtoare. Deschiderea unui circuit alimentat în curent continuu este mai dificilă decît a unui circuit alimentat în curent alternativ, în care trecerea periodică a curentului prin valoarea de zero favorizează stingerea arcului format la deschiderea contactelor. Circuitele inductive prezintă dificultăți la întrerupere, deoarece energia înmagazinată în cîmpul magnetic se consumă, în perioada deschiderii, în arcul electric care se formează între contacte și a cărui intensitate depinde de valoarea acestei energii; arcul poate provoca deteriorarea contactelor, prin formarea unor perle din materialul topit, sau chiar arderea lor. Dimpotrivă, închiderea unor asemenea circuite se efectuează mult mai ușor, deoarece nu intervine nici energia înmagazinată, nici arcul electric. În acest caz, limita capacității de comutare este determinată de curentul permanent pe care-l pot suporta contactele, fără să se producă (datorită căldurii dezvoltate în rezistența de contact) înrăutățirea calității sau chiar sudarea lor. Circuitele capacitive și în mod analog cele cu lămpi cu incandescență (care-și

modifică sensibil rezistența la creșterea însemnată a temperaturii) prezintă dimpotrivă dificultăți la închiderea contactelor, cînd absorb un curent mult mai mare decît în regim permanent. Dintre factorii externi mai pot fi amintiți și cei cum ar fi mediul în care se face comutarea, gaz sau lichid, precum și alte caracteristici ale acestuia.

Din cele expuse rezultă atenția care trebuie acordată, la alegerea contactelor unui releu, a condițiilor specifice în care acesta este pus să funcționeze. Trebuie observat că foarte multe acționări incorecte ale instalației de protecție se datoresc contactelor imperfecte (uzate sau sudate în timpul funcționării), de obicei, ca urmare tocmai a necorespondenței dintre capacitatea lor de comutare și puterea consumată în circuitele la care sînt racordate.

Din aceste motive în majoritatea schemelor de protecție se prevăd relee intermediare sau diferite mijloace, care au rolul de a mări capacitatea de comutare a releelor principale. În cazul releelor intermediare contactele lor sînt legate în circuitul de putere mai mare, contactul releului principal servind doar la acționarea releului intermediar.

Uneori prin combinarea unor elemente contradictorii ca efect (o capacitate în paralel pe contacte atunci cînd funcționează într-un circuit inductiv etc.) se poate îmbunătăți sensibil puterea de comutare a contactelor nefiind necesare alte măsuri.

Aceste măsuri de mărire a puterii de comutare sînt necesare pentru că o capacitate mare de comutare poate fi realizată diminuîndu-se alte proprietăți, de asemenea, importante.

Consumul propriu al releului reprezintă puterea absorbită de releu. Această putere variază în funcție de curentul care străbate releul, iar în timpul acționării—variază cu poziția armăturii mobile, care determină variația impedanței releului. Pentru releele de curent s-a convenit a se defini drept consum al releelor puterea absorbită de acestea cînd sînt parcurse de curentul nominal al transformatoarelor de curent care le alimentează.

Un releu este cu atît mai bun cu cît acest consum este mai mic, deoarece acesta duce la funcționarea transformatoarelor de curent cu erori mai mici. Consumul mic influențează însăși funcționarea releului, căldura dezvoltată fiind mai mică. Trebuie menționat că și pentru releele intermediare, consumul mic constituie o calitate, el ușurînd în mod corespunzător comutările efectuate de contactele releelor principale, cum și dimensionarea redusă a surselor de alimentare.

Precizia releelor reprezintă o caracteristică foarte importantă deoarece de ea depinde în mare măsură acționarea selectivă a protecției într-un sistem energetic. Precizia unui releu reprezintă diferența dintre valoarea parametrului electric la care se produce acționarea acestuia și valoarea acestui parametru pentru care este reglat releul să acționeze. Precizia se exprimă de regulă în procente din valoarea reglată. Dat fiind că releele sînt în general aparate mai robuste decît cele de măsurat (au cupluri mai mari), lagărele lor sînt mai mari decît ale acestora și deci frecările sînt mai mari. De asemenea, releele sînt puse în situația de a acționa (deci de a-și deplasa piesele mobile) după o îndelungată perioadă de repaus, timp în care se produce fenomenul de adeziune a pieselor de contact. Toate acestea fac ca precizia releelor, să fie mai mică decît cea a aparatelor de măsurat. Datorită acționărilor rare și a perioadelor lungi de repaus, precizia releelor

variază adesea în timp. Din această cauză se recomandă să nu se ungă decît piesele care sînt în mişcare permanentă (de exemplu, discul de la releele de inducţie), deoarece praful care se depune în timp duce la scăderea considerabilă a preciziei şi, uneori, chiar la nefuncţionarea releelor. Tot din aceste considerente este necesară verificarea periodică a releelor în special a celor electromecanice. În afara acestei particularităţi, dintre condiţiile externe care influenţează precizia releelor pot fi menţionate variaţiile de temperatură (releele sînt cu atît mai bune cu cît sînt mai insensibile la aceste variaţii), frecvenţa, curba tensiunii şi altele.

Coeficientul de revenire al releelor. Pentru ca un releu să acţioneze, mărimea electrică sub acţiunea căreia acesta se găseşte în permanenţă trebuie să atingă o anumită valoare. Pentru ca releul odată acţionat să revină în poziţia iniţială este necesar ca aceeaşi mărime să revină la o anumită valoare, care de regulă este diferită de cea la care s-a produs acţionarea. Raportul dintre valoarea mărimii caracteristice releului, la care se produce revenirea acestuia în stare de repaus şi valoarea la care se produce acţionarea, se numeşte coeficient de revenire şi se calculează după formula.

$$K_{rev} = \frac{M_{rev}}{M_{acţ}},$$

în care: M_{rev} este cuplul de revenire al releului;

$M_{acţ}$ — cuplul de acţionare al releului; poate fi proporţional cu curentul sau alte valori ce caracterizează, de regulă, principiul releului.

Valoarea acestui coeficient poate fi supra sau subunitară în funcţie de clasificarea modului de acţionare a releului. Astfel, dacă se clasifică releele după valorile sau sensul mărimilor de intrare (după valorile de acţionare) acestea pot fi:

— relee *maximale*, cele care îşi acţionează contactul atunci cînd valoarea de intrare (curentul sau tensiunea de exemplu) creşte poate o anumită mărime reglată iniţial;

— relee *minimale*, cele care îşi acţionează contactul atunci cînd valoarea de intrare scade sub o anumită mărime reglată iniţial.

În clasificarea de mai sus coeficientul de revenire este întotdeauna subunitar pentru releele maximale şi supraunitar pentru releele minimale.

Coeficientul de revenire reprezintă o caracteristică foarte importantă a unui releu şi variază după tipul constructiv al acestuia şi este determinat de mai mulţi factori, în special de variaţia diferită a cuplului activ, dat de mărimea electrică care determină acţionarea releului, şi a cuplului rezistent (antagonist) în funcţie de deplasarea elementului mobil al releului. Cuplul antagonist al releului este produs, de obicei de un resort, deci el creşte liniar cu deplasarea elementului mobil. În funcţie de principiul constructiv al releului, cuplul electric activ poate avea o valoare constantă sau poate să crească după o curbă, în funcţie de deplasarea contactului mobil; astfel, de exemplu la releele electromagnetice, fluxul magnetic dat de curentul care străbate bobinajul şi care determină valoarea cuplului

exercitat asupra armăturii mobile, variază cu deplasarea acesteia, pentru că reluctanța circuitului magnetic variază.

Din figura 9.1 rezultă influența felului în care variază cuplul activ în funcție de deplasarea elementului mobil asupra coeficientului de revenire. Sînt reprezentate aici cuplurile active în funcție de deplasarea δ a elementului mobil pentru trei valori ale curentului I, care determină acționarea releului: $M_{(I_1)}$, $M_{(I_2)}$ și $M_{(I_3)}$.

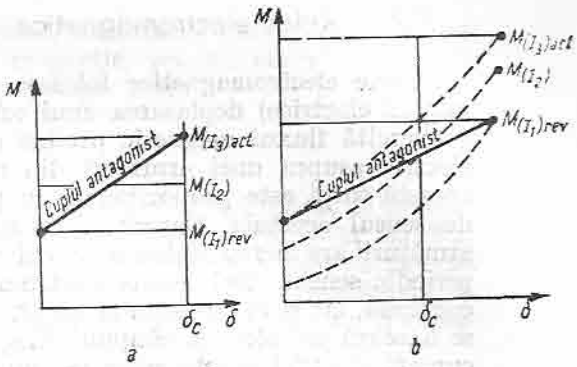


Fig. 9.1

În cazul în care cuplul electric activ este constant (figura 9.1), există o valoare I_3, pentru care elementul mobil poate executa întreaga cursă, deoarece cuplul activ echilibrează cuplul antagonist corespunzător acestei poziții, dar releul își deplasează contactul mobil (fără a acționa însă) și pentru valori ale curentului mai mici decît I_3 (dar mai mari decît I_1). Rezultă de asemenea, din figura 9.1,*a* că este suficientă o scădere foarte mică a curentului sub valoarea I_3 la care a avut loc acționarea releului, pentru ca, prin deplasarea din poziția finală, contactele sale să se deschidă și deci releul să revină. Coeficientul de revenire al unui asemenea releu este foarte bun (practic unitar), dar presiunea contactelor, determinată de cuplul activ, este într-un asemenea caz evident foarte mică (cuplul activ este chiar egal cu cel antagonist), deci și capacitatea de comutare a acestora este mică.

În cazul cînd cuplul activ crește mai mult decît liniar cu deplasarea elementului mobil (fig. 9.1, *b*) releul acționează dacă curentul crește peste valoarea I_3, căreia îi corespunde un cuplu activ mai mare decît cuplul antagonist din poziția de repaus. Odată cu deplasarea elementului mobil cuplul activ crește mai mult decît cel antagonist, astfel că la sfîrșitul cursei diferența dintre acestea, care la începutul acționării era foarte mică, devine mare și astfel se asigură o mare presiune a contactelor. Totodată însă, după cum se observă în figura 9.1,*b*, pentru ca releul acționat să revină, trebuie să aibă loc o scădere importantă a curentului (sub valoarea I_1, căreia îi corespunde, la capătul cursei, un cuplu activ egal cu cel antagonist). Odată cu revenirea elementului mobil în poziția inițială, cuplul activ dat de curentul I_1 scade mult sub valoarea cuplului antagonist. În felul acesta, atît închiderea, cît și deschiderea contactelor este fermă, deci de realizează o mare capacitate de comutare a acestora.

Realizarea unui bun coeficient de revenire influențează negativ capacitatea de comutare a contactelor, iar realizarea unei bune capacități de comutare duce la un coeficient de revenire neavantajos. În practică, se alege de obicei o cale de mijloc și, în preferarea uneia sau alteia dintre calități, se ține seama de destinația releului. Pentru releele intermediare (denumite uneori relee de tot sau nimic, pentru că mărimea la care acționează există și are o anumită valoare sau nu există de loc), coeficientul de revenire nu are nici o importanță; în schimb, capacitatea lor de comutare este de mare importanță pentru funcțiunile lor în schemele de protecție.

9.2.1. Relee electromagnetice

Releele electromagnetice folosesc, pentru a realiza (sub acţiunea unei mărimi electrice) deplasarea unui echipaj mobil, forţa de atracţie pe care o exercită fluxul magnetic produs de o bobină străbătută de un curent electric asupra unei armături din material magnetic. După cum se ştie, această forţă este proporţională cu pătratul fluxului şi deci independentă de sensul acestuia. Datorită acestui fapt, forţa care acţionează asupra armăturii are mereu acelaşi sens, chiar dacă curentul prin bobină îşi schimbă periodic sensul, deci releele electromagnetice pot fi folosite atît în curent continuu, cît şi în curent alternativ. Deoarece principiul lor de funcţionare se bazează pe folosirea cîmpului magnetic produs de înfăşurări parcurse de curenţi electrici aceste relee se numesc electromagnetice, asemănător cu denumirea aparatelor de măsurat.

Există mai multe tipuri constructive de relee electromagnetice. Cele mai răspîndite sînt cele cu armătură basculantă (fig. 9.2), cu armătură rotitoare (fig. 9.3), precum şi cele la care armătura efectuează o mişcare de translaţie; acestea din urmă pot avea circuitul magnetic închis sau deschis (fig. 9.4).

Condiţia de acţionare a unui releu electromagnetic poate fi stabilită pornindu-se de la faptul că cuplul activ produs de flux, este proporţional cu pătratul acestuia:

$$M_{act} = k_1 \Phi^2.$$

Se poate considera că reluctanţa circuitului magnetic al releului se reduce practic la cea a întrefierului şi este deci proporţională cu lungimea e a acestuia.

Fluxul poate fi exprimat sub forma:

$$\Phi = k_2 \frac{I}{e},$$

unde: I este curentul din bobina releului;

e — lungimea întrefierului.

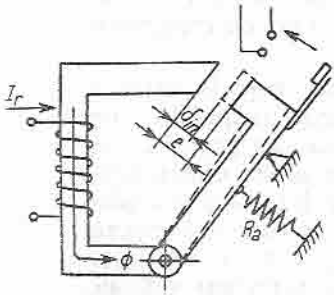


Fig. 9.2

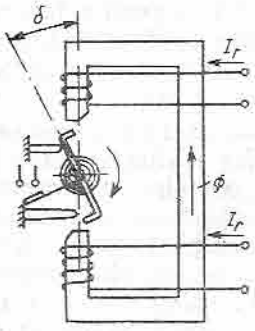


Fig. 9.3

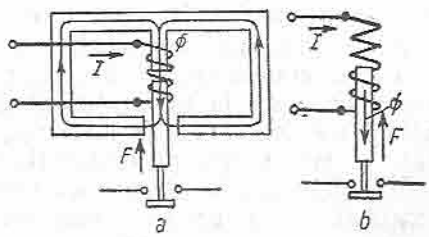


Fig. 9.4

Ţinînd seama de faptul că, în general, curentul I care produce fluxul nu variază cu reluctanţa circuitului magnetic, rezultă cuplul activ care acţionează asupra armăturii, în orice poziţie a ei:

$$M_{act} = k_3 \frac{I^2}{e^2}.$$

Deplasării armăturii în sensul acţionării releului (sensul indicat de săgeată în figura 9.2) i se opune cuplul antagonist dat de resort (R_a — în fig. 9.2) şi cuplul antagonist dat de forţele de frecare. Cuplul resortului antagonist are valoarea iniţială $M_{ant\,i}$ şi creşte pe măsura deplasării armăturii, ca urmare a întinderii resortului. Cuplul forţelor de frecare M_{fr} poate fi considerat constant.

Cuplul antagonist rezultant are deci expresia:

$$M_{ant\,rez} = M_{ant\,i} + k_4(e_i - e) + M_{fr},$$

în care: e_i este lungimea iniţială a întrefierului.

Atît cuplul activ cît şi cel antagonist cresc cu deplasarea armăturii mobile. Deci releul acţionează, armătura mobilă efectuînd cursa completă, dacă pe tot parcursul deplasării ei este satisfăcută condiţia:

$$M_{act} > M_{ant}.$$

Curentul pentru care această condiţie este satisfăcută este curentul de acţionare al releului.

Se observă că cuplul rezistent creşte liniar cu deplasarea armăturii, iar cuplul activ creşte cu pătratul deplasării. Rezultă că, în general, pentru releele electromagnetice la sfîrşitul cursei armăturii mobile, diferenţa dintre cuplul activ şi cel rezistent este mare, deci aceste relee au o capacitate mare de comutare a contactelor, dar un coeficient de revenire neavantajos. Creşterea cuplului activ produs de curent cu pătratul deplasării, în timp ce cuplul rezistent creşte doar proporţional, face ca releul să aibă un coeficient de revenire cu atît mai avantajos cu cît cursa armăturii este mai mare.

Pentru realizarea unui coeficient de revenire bun simultan cu o capacitate mare de comutare a contactelor, releele eletromagnetice construite în prezent (la care cursa elementului mobil este suficient de mare pentru o funcţionare sigură) sînt de forma celui reprezentat în figura 9.3. Datorită unei forme speciale a polilor circuitului magnetic şi a paletei mobile în cîmpul magnetic, se obţine o expresie a fluxului şi deci a cuplului activ în funcţie de rotirea acesteia, care permite deplasări mari, realizîndu-se totodată coeficienţi de revenire buni (de ordinul a 0,85 — 0,95).

Releele electromagnetice construite după principiul şi formele indicate prezintă în curent alternativ un dezavantaj important şi anume vibrarea contactelor în timpul funcţionării. Aceasta se datoreşte faptului că fluxul magnetic (deci şi cuplul activ care îi corespunde) variază sinusoidal cu frecvenţa f a curentului care parcurge bobinajul releului, şi deci trece prin valoarea zero de 2 f ori pe secundă. Variaţia cuplului activ şi anularea sa periodică de scurtă durată, fără a putea provoca deschiderea contactelor, produce totuşi vibraţii ale acestora.

Vibraţiile duc la degradarea în timp a contactelor şi la uzarea prematură a lagărelor armăturii mobile; de aceea, se urmăreşte întotdeauna înlăturarea

lor. Metoda folosită, în general, pentru înlăturarea vibrațiilor constă în montarea unei spire în scurtcircuit (de obicei de cupru), pe un pol fix al electromagnetului (fig. 9.5). În această spiră ia naștere un curent electric care produce un flux magnetic. În felul acesta, în intrefierul dintre polul fix și armătura mobilă există două fluxuri defazate în timp, Φ_1 și Φ_2. Cele două fluxuri produc, la rîndul lor, două cupluri active M_1 și M_2, defazate și ele în timp; astfel se obține (fig. 9.6) un cuplu activ rezultant M_{rez}, care nu mai trece prin valoarea zero, deci se elimină vibrațiile. Printr-o dispoziție constructivă și o secțiune corespunzător alese, se poate obține un flux care să varieze foarte puțin în timp, deci un cuplu activ practic constant, chiar în curent alternativ.

Releele de tip electromagnetic au o largă aplicare datorită simplității construcției lor și calităților pe care le prezintă. Ele asigură un cuplu activ puternic, deci o mare capacitate de comutare a contactelor, simultan cu un bun coeficient de revenire. Timpul lor propriu de acționare este foarte mic, de aceea releele de acest tip sînt foarte rapide. Principiul electromagnetic este folosit în realizarea releelor de curent și de tensiune (așa numitele relee de măsură), a releelor de timp și a majorității tipurilor de relee intermediare.

Pentru a putea corespunde diferitelor condiții în care sînt puse să funcționeze, releele de curent trebuie să aibă posibilitatea de reglare între limite largi a curentului de acționare. Metodele folosite pentru aceasta constau în modificarea tensiunii inițiale a resortului, deci a cuplului antagonist, modificarea numărului de spire ale bobinei și modificarea întrefierului inițial. Cea mai utilizată dintre aceste metode este prima, care are avantajul de a fi comodă în exploatare și de a realiza un reglaj fin.

La noi se realizează releele electromagnetice de măsurare de tipul celor reprezentate în figura 9.3 (cu armătură rotitoare), care sînt folosite atît ca relee de curent (releele RC), cît și ca relee de tensiune (RT); diferența dintre cele două variante constă în bobinaj. Releele de curent au bobinele formate din spire puține și de secțiune mare, căci sînt parcurse în permanență de curenți de ordinul a 5 A, iar în cazul defectelor de curenți mult mai mari; releele de tensiune au bobinele formate din spire multe și de secțiune mică, ele absorbind de la transformatoarele de tensiune un curent mic. În general, puterea absorbită de releele de tensiune este mai mare decît cea absorbită de releele de curent.

Curentul de acționare al releelor tip RC, respectiv tensiunea de acționare a releelor de tip RT, se reglează prin modificarea tensiunii inițiale a resortu-

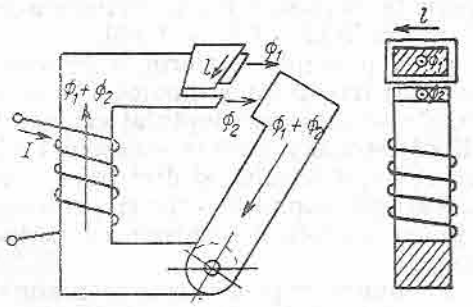


Fig. 9.5

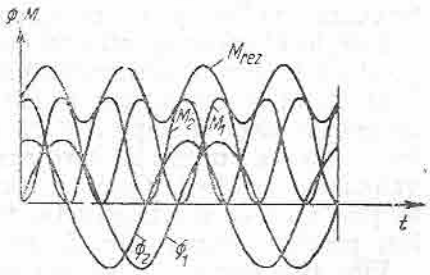


Fig. 9.6

lui antagonist, cum şi prin legarea în serie sau în paralel a celor două secţii ale bobinei releului. Prin aceste două metode se modifică valoarea reglată a curentului sau a tensiunii de acţionare, între 25% şi 100% din curentul nominal, respectiv tensiunea nominală.

Modificîndu-se conexiunea celor două secţiuni ale bobinei releului, din serie în paralel, pentru o aceeaşi tensiune iniţială a resortului antagonist, se obţine, de exemplu la releele de curent, dublarea curentului de acţionare. Într-adevăr, dacă fiecare secţie a bobinei are w_1 spire şi dacă tensiunea magnetomotoare necesară pentru producerea unui cuplu activ mai mare decît cel antagonist este F_a, în cazul legării bobinelor în serie, curentul de acţionare este:

$$I_{acţ} = \frac{F_a}{2w_1}.$$

Dacă însă secţiile bobinei se leagă paralel, pentru a se obţine aceeaşi tensiune magnetomotoare F_a, curentul care alimentează releul, deci curentul de acţionare, trebuie să fie de două ori mai mare, căci prin fiecare secţie a bobinei trece acum numai jumătate din curentul total.

Releele electromagnetice de curent fabricate la noi (tip RC) se execută pentru curenţi nominali de 0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20; 50; 100; 200; A, iar cele de tensiune (tip RT), pentru tensiunile nominale de 48; 60; 160; 200; 320; 400 V. Atît releele de curent cît şi cele de tensiune, se execută cu contacte normal deschise (tipurile RC—1—1, RT—1—1 şi RT—2—1), cu contacte normal închise (tipurile RC—1—2, RT—1—2 şi RT—2—2) sau cu cîte un contact normal deschis şi unul normal închis (tipurile RC—1—3, RT—1—3 şi RT—2—3).

Releele de curent sînt numai de tipul maximal acţionînd în cazul creşterii curentului peste valoarea reglată, iar cele de tensiune sînt atît de tipul maximal (releele RT—1), cît şi de tipul minimal (releele RT—2), în ultimul caz acţionînd la scăderea tensiunii sub valoarea reglată. Consumul de putere este de 0,3 VA, la releele de curent şi de aproximativ 2 VA, la cele de tensiune. Coeficientul de revenire este de 0,85 — la releele maximale şi de $\frac{1}{0{,}85}$ — la cele minimale.

Unul din releele intermediare de tip electromagnetic construit la noi este reprezentat schematic în figura 9.7. Bobina sa se execută pentru diferite tensiuni (24, 48, 110, 220 V), iar circuitul magnetic este construit din tole magnetice, astfel că releul poate fi folosit atît în curent alternativ, cît şi în curent continuu. Acest releu este larg folosit în instalaţiile de protecţie şi automatizare, pentru mărirea numărului de circuite comandate de releele de măsură, cum şi pentru suplinirea capacităţii de comutare reduse a contactelor acestora.

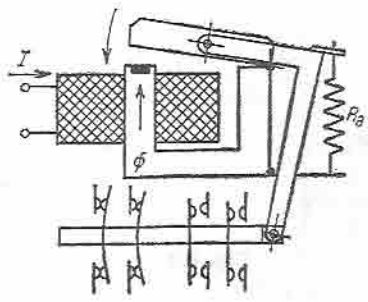
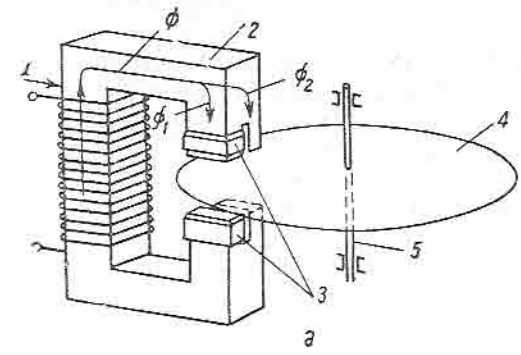


Fig. 9.7



а

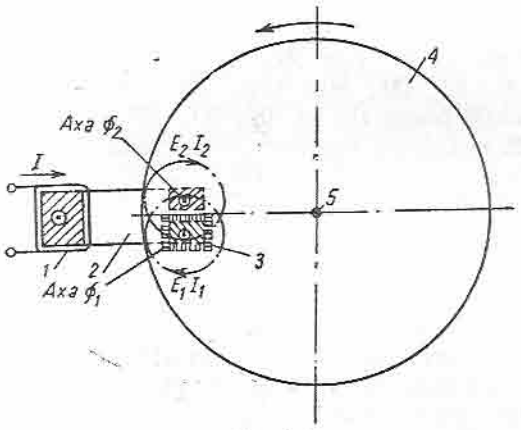


Fig. 9.8

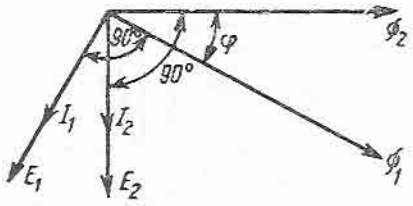


Fig. 9.9

9.2.2. Relee de inducţie

Releele de inducţie foarte răspîndite în instalaţiile de protecţie, ca elemente de bază ale protecţiilor maximale de curent cu caracteristică dependentă şi ale protecţiilor direcţionale; ele se folosesc şi în protecţiile de distanţă.

Funcţionarea releelor de inducţie se bazează pe acţiunea reciprocă dintre fluxurile magnetice variabile în timp create de mărimile electrice aplicate releului şi curenţii induşi de acestea în elementul mobil al acestuia. Rezultă că ele pot fi folosite numai în curent alternativ.

Pentru realizarea cuplului de rotaţie M_{rot}, releele de inducţie folosesc cel puţin două fluxuri magnetice alternative, decalate în spaţiu şi defazate în timp. Curenţii turbionari induşi în sistemul mobil creează împreună cu fluxurile, cuplurile de rotaţie necesare ale acestuia. Există două tipuri de relee de inducţie: cu o singură înfăşurare şi cu două înfăşurări.

Releele de inducţie cu o singură înfăşurare sînt utilizate în cazul cînd este necesar ca mişcarea rotorului să fie funcţie de o singură mărime electrică (curentul sau tensiunea). Deoarece însă nu se poate produce mişcare cu un singur flux, se recurge la introducerea unei spire în scurtcircuit pe o porţiune a miezului de fier, la marginea întrefierului. Astfel se obţine un al doilea flux, decalat faţă de primul în spaţiu şi defazat în timp, realizîndu-se un cuplu.

După cum se observă în figura 9.8 fluxul magnetic principal străbate circuitul magnetic *2* şi se împarte în două fluxuri Φ_1 şi Φ_2, în apropierea întrefierului. Aceste două fluxuri sînt decalate în spaţiu şi defazate cu un unghi φ (fig. 9.9), cu ajutorul spirei de cupru în scurtcircuit *3*. Un disc de aluminiu *4* se poate roti odată cu axul *5* în întrefierul circuitului magnetic *2*.

Tensiunile electromotoare E_1 şi E_2, produse respectiv de fluxurile mag-

netice Φ_1 şi Φ_2, nu depind de starea de mişcare sau de repaus a discului. Ele sînt defazate cu 90° în urmă faţă de fluxurile Φ_1 respectiv Φ_2, şi dau naştere în disc curenţilor turbionari I_1 şi I_2. Liniile de curent produse de un flux trec parţial şi prin porţiunea de disc din dreptul axei celuilalt flux.

Porţiunile de disc situate în dreptul axelor fluxurilor vor fi supuse prin urmare unor forţe exercitate de cîmpurile magnetice. Dacă rezultanta sau momentul acestor forţe sînt diferite de zero, discul se pune în mişcare. Este de observat că mişcarea este datorată acţiunii dintre un flux (de exemplu Φ_1) şi curentul indus de celălalt flux (I_2), deoarece forţele exercitate de curenţii induşi proprii au o rezultantă nulă. Faza acestor curenţi este aceeaşi cu a tensiunilor electromotoare care i-au creat, întrucît rezistenţa discului este de cîteva ori mai mare decît reactanţa.

Cuplul de rotaţie al unui aparat de inducţie se determină, după cum se ştie, cu formula:

$$M_{rot} = k_1 f \Phi_1 \Phi_2 \sin \varphi,$$

în care: k_1 este un coeficient de proporţionalitate;

f — frecvenţa curentului alternativ;

Φ_1, Φ_2 — valorile efective ale fluxurilor magnetice;

φ — unghiul de defazaj între fluxuri.

Deoarece la releul examinat fluxurile Φ_1 şi Φ_2 sînt proporţionale cu curentul I (pînă la saturaţia miezului), cuplul de rotaţie se poate scrie sub forma:

$$M_{rot} = k_2 f I^2 \sin \varphi.$$

Pentru un anumit releu, mărimile f şi φ sînt constante deci,

$$M_{rot} = kI^2.$$

Sub acţiunea cuplului M_{rot}, discul releului tinde să se rotească, însă este frînat de cuplul antagonist M_{ant} creat de un magnet de frînare şi de un resort (neindicate în fig. 9.8). În cazul în care $M_{rot} > M_{ant}$, discul se roteşte şi, după un anumit timp, atinge cu contactul mobil (montat pe axul său) contactul fix, deci releul acţionează.

Releul maximal de curent cu temporizare tip RTpC (fig. 9.10) reprezintă de fapt o combinaţie între un releu de inducţie şi un releu electromagnetic. Partea caracteristicii între limitele căreia temporizarea depinde de curent se numeşte parte *dependentă*, iar cea între limitele căreia temporizarea nu depinde de curent se numeşte parte *independentă* (fig. 9.11).

Releul are un circuit magnetic *a* (fig. 9.10) precăzut cu spire în scurtcircuit, pentru defazarea fluxului. Fluxul din circuitul magnetic, este creat de bobina *b*, ale cărei prize de curent sînt racordate la sistemul *n* de comutare a acestora. Cu ajutorul sistemului de comutare poate fi modificat reglajul curentului de pornire al releului, chiar sub curentul de sarcină, întrucît printr-un arc şi printr-un contact special *n* se şuntează circuitul de curent care alimentează releul. Discul de aluminiu *c* este montat fix pe un ax *d*, care este fixat la rîndul său de un cadru *e*, mobil în jurul axei *f*. Rotirea discului începe la curenţi de ordinul a 15% din curentul

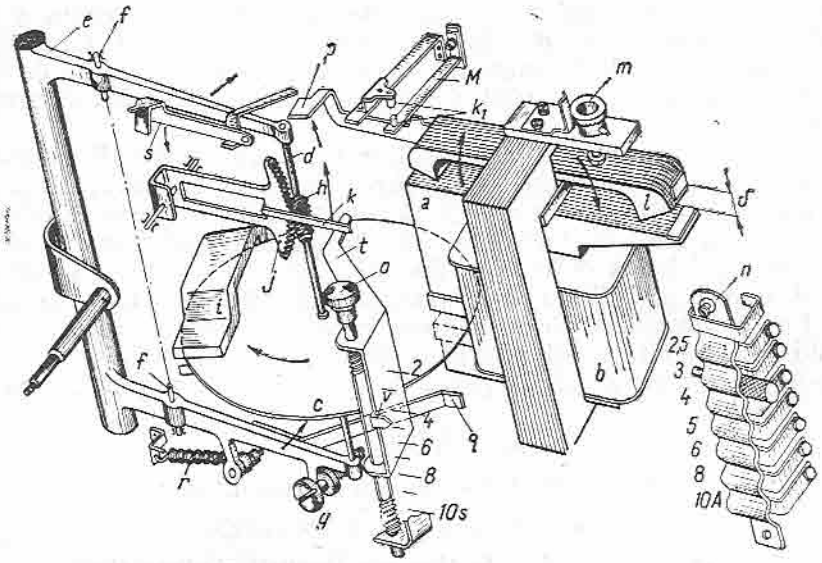


Fig. 9.10

reglat şi continuă atît timp cît prin înfăşurarea releului trece curent. Un resort antagonist r face ca discul să nu-şi modifice poziţia decît atunci cînd curentul prin înfăşurarea releului depăşeşte valoarea reglată ; în momentul acesta, fluxul creat atrage discul de aluminiu şi şurubul melc h, fixat rigid de axul discului, se angrenează cu sectorul dinţat j, discul se roteşte şi sectorul se deplasează în sus.

Asupra discului acţionează cuplul de rotaţie M_{rot} şi cuplul antagonist M_{ant} (analizate mai sus). Acesta din urmă rezultă din frînarea dată de magnetul permanent i. În cazul creşterii curentului în înfăşurarea releului, se măreşte cuplul care acţionează asupra discului, însă creşte şi cuplul antagonist, în funcţie de viteza acestuia. În acest fel, viteza discului este limitată de acţiunea magnetului permanent. Şurubul g serveşte ca limitator de cursă al discului, astfel încît începutul şi sfîrşitul cursei acestuia să asigure o angrenare sau o decuplare optimă (cu frecări minime) cu sectorul dinţat j. După angrenarea sectorului cu şurubul melc h al discului şi în timpul rotirii permanente a acestuia, sectorul dinţat se deplasează în sus, pînă cînd atinge cu pîrghia k paleta p a părţii mobile l a electromagnetului. Aceasta basculează, în sensul indicat de săgeţile din figură şi împinge contactul mobil M. Deplasarea contactului M pînă la capătul cursei se produce datorită faptului că partea mobilă l este atrasă puternic de corpul a al electromagnetului, ca urmare a micşorării întrefierului. Contactul k_1, al releului poate fi normal închis sau normal deschis. El îşi

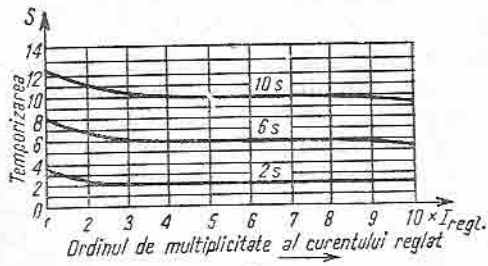


Fig. 9.11

schimbă poziţia normală ori de cîte ori armătura mobilă *l* a electromagnetului principal îşi modifică poziţia.

După angrenarea şurubului fără sfîrşit *h* cu segmentul *j* şi după deplasarea acestuia în sus, viteza de rotaţie a discului scade, ceea ce poate avea ca urmare decuplarea şurubului fără sfîrşit *h* de sectorul *j*. Pentru evitarea acestui lucru, pe cadrul *e* este fixată o lamă de oţel *q*, asupra căreia acţionează fluxurile magnetice de dispersie ale electromagnetului *a*. După angrenarea şurubului fără sfîrşit *h* cu segmentul *j*, lama *q* este atrasă de fluxurile de dispersie şi împiedică decuplarea.

Porţiunea dependentă a caracteristicii de timp a releului (fig. 9.11) este determinată de viteza de rotaţie a discului, care determină viteza de deplasare în sus a sectorului dinţat, şi de unghiul de rotaţie al acestuia, temporizarea la un curent dat fiind cu atît mai mare cu cît acest unghi este mai mare, adică, cu cît opritorul *t* este lăsat mai jos, prin şurubul limitator *o*.

Armătura mobilă *l* mai poate acţiona şi în cazul unor fluxuri foarte puternice. În acest caz se realizează o tăiere rapidă de curent, adică o acţionare rapidă a releului la curenţi mari. Cînd prin înfăşurarea releului circulă un curent care depăşeşte o anumită valoare, capătul drept al armăturii *l* este atras de miezul electromagnetului, într-un timp mai scurt decît acela în care pîrghia *k* a sectorului *j* ajunge la piesa *p*. Timpul de acţionare rapidă al tăierii de curent este de 0,05—0,1 s. Acesta funcţionează după principiul releelor electromagnetice descrise mai sus.

Valoarea curentului la care acţionarea releului este rapidă se reglează prin variaţia întrefierului dintre capătul drept al armăturii *l* şi miezul electromagnetului *a*, cu ajutorul şurubului *m*. Acesta este marcat cu cifrele *2*, *4*, *6*, *8* şi ∞, care reprezintă coeficientul de multiplicitate al curentului reglat, la care releul acţionează netemporizat. Dacă se măreşte foarte mult întrefierul (şurubul *m* pe poziţia infinit), releul nu acţionează instantaneu.

Temporizarea releului se reglează prin modificarea distanţei dintre piesa *k* şi pîrghia *p*. Prin rotirea şurubului *o* se ridică sau se coboară opritorul *t*, prevăzut cu indicatorul *v*, care se deplasează în faţa scării gradate în secunde a releului. Limitele reglajului de timp al acestui tip de releu sînt cuprinse între 0,7 şi 10 s.

Avantajele releului sînt următoarele;

— faptul că discul se roteşte şi în regim normal de funcţionare permite să se controleze permanent starea releului (pe capacul carcasei, există o fereastră cu geam) şi a circuitului de curent. De asemenea, nu acţionează la variaţii scurte de sarcină. Deoarece viteza de rotaţie a discului este dependentă de valoarea curentului, releul poate indica calitativ sarcina liniei pe care este montat, fapt pentru care este denumit uneori şi releul ampermetric;

— releul permite tăierea de curent (acţionarea rapidă) fără relee suplimentare;

— aderarea bună a contactelor normal deschise nu depinde de valoarea curentului de defect, care circulă prin înfăşurarea releului (după cum s-a văzut la sfîrşitul cursei sectorului dinţat, datorită micşorării întrefierului dintre armătura *1* şi corpul *a*, se produce o închidere fermă a contactelor);

— coeficientul de revenire al sistemului de inducție este relativ bun ($k_{rev} = 0{,}75 \ldots 0{,}85$).

Dezavantajele sînt:

— sistemul mecanic destul de complicat face ca precizia de funcționare să fie redusă;

— coeficientul de revenire al sistemului electromagnetic este mai mic ($k_{rev} = 0{,}4$);

— eroarea în ce privește curentul de acționare al tăierii este mare;

— consumul de putere este relativ mare (circa 30 VA).

La releele de inducție cu două înfășurări, mișcarea rotorului se efectuează sub acțiunea a două mărimi electrice. În această construcție, ele se folosesc ca relee direcționale, de distanță etc. În cazul în care releele acționează la schimbarea sensului puterii, se numesc direcționale; cele care măsoară impedanța sau reactanța liniei pînă la locul defectului, deci mărimi proporționale cu distanța pînă la defect se numesc relee de distanță.

Releele direcționale bazate pe principiul inducției se execută cu disc, cu rotor cilindric sau cadru mobil.

În ultimul timp s-au adoptat construcțiile cu rotor cilindric și cu cadru mobil, care permit să se realizeze relee cu timp de acționare de ordinul a 0,01 secunde.

Se va examina releul direcțional tip IMB mai vechi sau RBM mai recent, cu două înfășurări, cu rotor cilindric, de construcție sovietică, folosit uzual la noi în țară în protecțiile direcționale. (fig. 9.12). În principiu, releul este format dintr-un circuit magnetic *m* cu poli aparenți, cu rotor cilindric de aluminiu *r*, înfășurările de curent și de tensiune pe circuitul magnetic și un contact normal deschis *c*. Contactul mobil este fixat pe axul cilindrului, de aluminiu. În interiorul cilindrului de aluminiu se găsește un alt cilindru, de fier, *f*, care servește la reducerea reluctanței circuitului magnetic total; un magnet permanent, care cuprinde între polii săi cilindrul de aluminiu, servește la amortizarea mișcărilor rotorului, iar un resort menține contactele deschise (ultimele două piese nu sînt reprezentate în figură).

În figura 9.13 este reprezentată realizarea practică a releului; se observă modul cum sînt dispuse resortul antagonist și contactele.

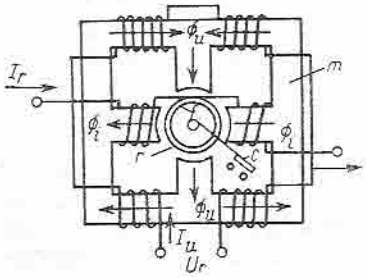


Fig. 9.12

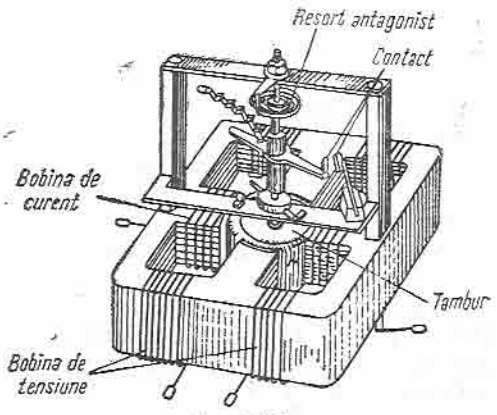


Fig. 9.13

Înfășurarea de curent este formată din două bobine legate în serie și așezate pe doi poli, iar înfășurarea de tensiune din patru bobine legate tot în serie și așezate pe circuitul magnetic exterior. Prin înfășurarea de curent circulă curentul I_r din circuitul secundar al transformatoarelor de curent, iar înfășurării de tensiune i se aplică tensiunea U_r din circuitul secundar al transformatoarelor de tensiune.

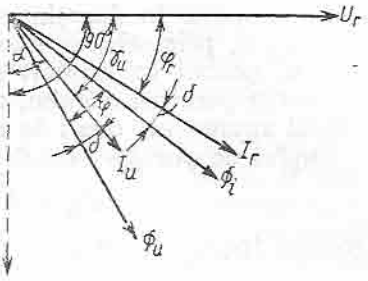


Fig. 9.14

Datorită tensiunii aplicate U_r, prin înfășurarea de tensiune circulă curentul I_u. Curenții I_r și I_u dau naștere respectiv fluxurilor Φ_i și Φ_u, decalate în spațiu cu 90° (figura 9.14).

Funcționarea releelor de inducție cu două înfășurări se bazează pe acțiunea reciprocă dintre fluxurile magnetice variabile în timp și curenții induși de acestea în elementul mobil al releului (rotorul). Cuplul de rotație al unui releu de inducție se determină cu o relație folosită mai înainte.

Pînă la saturația circuitului magnetic, se poate considera că fluxul Φ_i este proporțional cu curentul I_r, iar fluxul Φ_u cu curentul I_u, adică:

$$\Phi_i = k_2 I_r; \quad \Phi_u = k_3 I_u = k_3 \frac{U_r}{Z_u} = k_4 U_r,$$

unde: Z_u este impedanța înfășurării de tensiune;

k_2, k_3, k_4 — coeficienți de proporționalitate.

Diagrama fazorială a releului este reprezentată în figura 9.14.

Ea a fost construită luîndu-se ca mărimi inițiale tensiunea U_r, curentul I_r și unghiul de defazaj dintre ele φ_r. Curentul I_u este defazat față de U_r cu unghiul γ_u, determinat de raportul dintre reactanța și rezistența înfășurării de tensiune.

Fluxurile Φ_i și Φ_u sînt defazate față de curenții I_r, respectiv I_u, cu unghiul δ, determinat de pierderile în fierul circuitului magnetic. S-au obținut astfel două fluxuri magnetice decalate în spațiu cu 90° și defazate în timp cu unghiul φ.

În figura 9.14 s-a notat cu γ_u defazajul dintre I_u și U_r și cu α complementul lui γ_u. Unghiul γ_u se numește *unghi de defazaj interior* și depinde de parametrii înfășurării de tensiune și de construcția releului. De obicei, în expresia cuplului nu se folosește unghiul γ_u, ci complementul său α; se observă că:

$$\varphi = \gamma_u - \varphi_r.$$

Ținînd seama de aceste notații, cuplul de rotație al releului devine:

$$M_{rot} = kI_r U_r \sin \varphi = kI_r U_r \cos (\varphi_r + \alpha),$$

de unde se observă că cuplul de rotație al releului, la valori constante ale mărimilor I_r și U_r, este maxim cînd $\varphi_r + \alpha = 0$. În funcție de unghiul de defazaj φ_r, cuplul de rotație poate fi pozitiv sau negativ, deci rotorul se rotește într-un sens sau în sensul opus.

La punerea în funcțiune a protecției care folosește astfel de relee se determină, prin schema de conectare a acestora, sensul în care se rotește rotorul pentru un anumit sens al puterii.

Pentru pornirea releului, cuplul de rotație trebuie să fie mai mare decît cuplul antagonist, creat de resort și de frecarea părților mobile.

Cuplul de pornire este definit deci prin expresia:

$$M_{pr} = k(U_r I_r)_{pr} \cos(\varphi_r + \alpha) = M_{ant}.$$

Notînd $(U_r I_r)_{pr}$, care se mai numește puterea de pornire, se obține deci:

$$S_{pr} = (U_r I_r)_{pr} = \frac{M_{ant}}{k \cos(\varphi_r + \alpha)}. \quad [\text{VA}]$$

Sensibilitatea releului direcțional se caracterizează, de obicei, prin valoarea minimă a puterii de pornire $S_{pr\ min}$ corespunzătoare unghiului $\varphi_r = -\alpha$, pentru care $\cos(\varphi_r + \alpha) = 1$; unghiul $\varphi_r = -\alpha$ se numește unghiul sensibilității maxime. Puterea de pornire minimă este:

$$S_{pr\ min} = \frac{M_{ant}}{k}.$$

Puterea de pornire a releului direcțional depinde de unghiul sensibilității maxime și de curentul care circulă prin înfășurarea de curent.

Releele direcționale de inducție au timpul de acționare foarte scurt: releele tip IMB acționează în 0,04 s, la o putere de pornire de cinci ori mai mare decît cea nominală.

9.2.3. Relee electrodinamice

În protecția sistemelor energetice, releele electrodinamice se folosesc ca relee direcționale. Ele pot fi utilizate atît în curent alternativ, cît și în curent continuu. Principiul lor de funcționare se bazează pe acțiunea reciprocă dintre cîmpul unui sistem magnetic fix și curentul care parcurge o bobină mobilă.

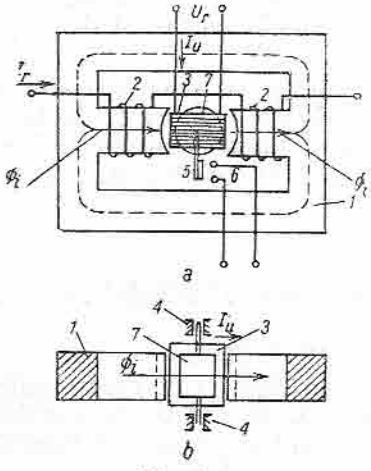


Fig. 9.15

După cum se observă în figura 9.15, releul este compus din miezul magnetic *1*, cu doi poli, pe care se așază bobinele înfășurării *2*. Înfășurarea mobilă *3*, construită sub formă de cadru, este susținută prin intermediul unui ax în lagărele *4*. Înfășurarea fixă are spire puține, confecționate din conductor gros, iar înfășurarea mobilă are un număr mare de spire din conductor subțire; pentru a se micșora și mai mult greutatea cadrului mobil, se utilizează sîrmă de aluminiu.

Solidar cu cadrul mobil este fixat brațul de contact *5*, care prin rotire stabilește legătura dintre contactele *6*. În interiorul

cadrului se află miezul cilindric 7, care mărește permeabilitatea magnetică a întrefierului dintre poli. Releul este prevăzut cu un resort spiral legat la cadrul mobil, care produce cuplul antagonist, ce tinde să mențină cadrul în poziția inițială. Pentru mărirea sensibilității releului, tensiunea resortului antagonist și frecările în lagăre sînt foarte mici, deci M_{ant} este neglijabil.

Prin înfășurarea fixă trece curentul I_r, care produce în miezul magnetic fluxul Φ_i, iar înfășurării mobile i se aplică tensiunea U_r, căreia îi corespunde curentul I_u. Acțiunea reciprocă dintre fluxul Φ_i și curentul I_u, dă naștere unui cuplu electromagnetic, care rotește cadrul pînă la învingerea cuplului antagonist, adică pînă la închiderea contactelor, în cazul în care se respectă relația:

$$M_{rot} > M_{ant}.$$

La releele de curent continuu momentul de rotație sau cuplul activ este proporțional cu produsul dintre fluxul Φ_i și curentul I_u. La releele de curent alternativ intervine și unghiul de defazaj ψ dintre Φ_i și I_u, astfel că expresia este:

$$M_{rot} = k_1 \Phi_i I_u \cos \psi.$$

Pentru exprimarea cuplului activ M_{rot} se folosește, în mod obișnuit, o altă relație, în care apar parametrii circuitului electric la care este legat releul și anume tensiunea U_r, curentul I_r și unghiul de defazaj dintre ele φ_r. Ținînd seama de relațiile de proporționalitate dintre Φ_i și I_r și dintre I_u și U_r, relația de mai sus devine:

$$M_{rot} = k_2 U_r I_r \cos (\varphi_r + \alpha),$$

unde α este un unghi care depinde de caracteristicile constructive ale releului, fiind numit unghi interior al acestuia.

Sensul de rotație al cadrului mobil depinde de sensul cuplului activ, care depinde de sensul fazorilor I_r și U_r, respectiv de unghiul φ_r. Rotirea cu 180° a unuia dintre fazorii I_r sau U_r schimbă sensul cuplului.

Cuplul de pornire al acestor relee, precum și sensibilitatea maximă au aceleași particularități cu cele descrise mai sus la releele direcționale cu inducție.

Releele electrodinamice au ca avantaje:

— posibilitatea funcționării atît în curent continuu, cît și în curent alternativ;

— schema simplă, care permite folosirea lor atît ca element wattmetric, cît și ca element varmetric;

— sensibilitatea mai ridicată decît a releelor de inducție;

— gabaritul și greutatea reduse.

Timpul propriu de acționare al releelor electrodinamice este, în general, mai mare decît al releelor de inducție. Pentru releele al căror cadru are un număr mare de spire, temporizarea trece de 4—5 periode.

În figura 9.16 este reprezentată schema de conexiuni a releului direcțional cu element electrodinamic, al protecției de distanță tip RD—7. El este compus, în principal, din bobina de tensiune B_u, căreia i se aplică tensiunea U_r de la un transformator de tensiune și bobina de curent B_i,

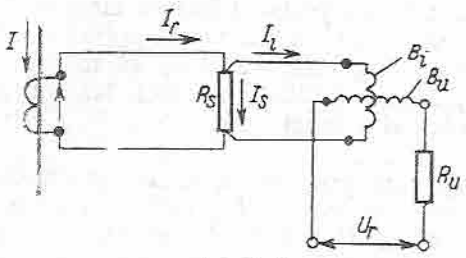


Fig. 9.16

aceasta nefiind alimentată direct de la înfăşurarea secundară a transformatorului de curent, ci de la bornele rezistenţei R_s, în care căderea de tensiune este proporţională cu curentul I_r. Repartiţia curenţilor pe elementele circuitului se face conform primei teoreme a lui Kirchhoff, după relaţia:

$$I_r = I_s + I_i,$$

în care curentul I_i este defazat cu un unghi în urma lui I_r, datorită reactanţei bobinei de curent. Valoarea acestui unghi este aleasă astfel încît să se obţină o acţionare cît mai corectă a releului în cazul scurtcircuitelor pe liniile aeriene. În serie cu bobina de tensiune este legată rezistenţa neliniară R_u, al cărei rol este menţinerea sensibilităţii releului în orice regim de funcţionare. Rezistenţa este construită astfel încît valoarea ei scade odată cu scăderea tensiunii aplicate releului. Datorită acestui lucru, în cazul scurtcircuitelor foarte apropiate de locul în care este instalat releul, cînd tensiunea remanentă este redusă, curentul prin bobina de tensiune are totuşi o valoare suficientă pentru a produce cuplul necesar orientării releului.

Cuplul care acţionează asupra echipajului mobil are şi la acest releu expresia $M_{rot} = kU_rI_r \cos(\varphi_r + \alpha)$, factorii din formulă avînd aceleaşi semnificaţii ca mai înainte.

9.2.4. Relee polarizate

Releele polarizate fac parte din categoria releelor electromagnetice sau magnetoelectrice, partea lor mobilă se deplasează tot ca urmare a acţiunii unui cîmp magnetic. Caracteristică pentru releele polarizate este însă existenţa a două fluxuri unul de lucru, produs de curentul de acţionare al releului (care parcurge înfăşurarea acestuia) şi unul suplimentar de polarizare. După modul cum este produs fluxul de polarizare se deosebesc: relee polarizate cu magnet permanent şi relee polarizate cu electromagnet de polarizare. Releele polarizate funcţionează, în principal, cu curent continuu sau cu curent alternativ redresat, iar în cazuri speciale şi cu curenţi alternativi.

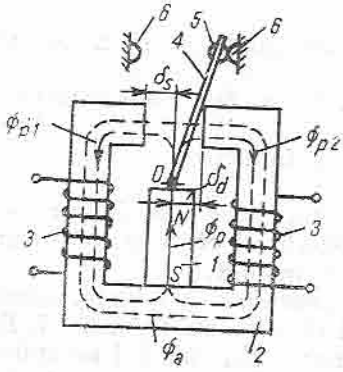


Fig. 9.17

În figura 9.17 este reprezentat schematic un releu polarizat din prima grupă. Părţile sale componente sînt: magnetul permanent *1*, fixat pe miezul *2*, pe ale cărui braţe sînt dispuse bobinele *3* ale releului. În întrefierul miezului se deplasează, avînd axul de rotaţie în punctul *0*, armătura de fier *4*, care poartă contactele mobile *5*, între contactele fixe *6*. În stare de repaus a releului, armătura *4* poate fi aşezată pe oricare dintre părţi.

Magnetul permanent crează fluxul de polarizare Φ_p, care se împarte în două: Φ_{p1}, care se închide prin întrefierul δ_s şi prin braţul stîng al miezului şi Φ_{p2}, care se închide prin întrefierul δ_d şi prin braţul drept. Fluxul de lucru este determinat de sensul curentului în înfăşurarea relului. În stare de funcţionare, considerînd un anumit sens al curentului în bobine, în cele două întrefieruri δ_s şi δ_d vor acţiona, respectiv, fluxurile $\Phi_s = \Phi_a + \Phi_{p1}$ şi $\Phi_d = \Phi_a - \Phi_{p2}$.

Forţa rezultată asupra armăturii este

$$F = k\Phi_r^2 = \frac{\Phi_s^2 - \Phi_d^2}{25q}, \quad [\text{daN}]$$

unde: q este suprafaţa polilor magnetului permanent, în cm²;
Φ_s şi Φ_d — fluxurile, în Mx.

Deoarece $\Phi_s > \Phi_d$, forţa rezultantă va deplasa armătura de pe partea dreaptă pe partea stîngă. La dispariţia fluxului Φ_a, armătura rămîne sprijinită pe contactul pe care a fost deplasată de ultima acţiune a fluxului Φ_r. Este de remarcat lipsa resortului antagonist prezent la toate releele electromecanice. Această lipsă influenţează pozitiv unele particularităţi ale acestui releu.

Parametrii principali ai releului polarizat sînt:

— forţa de apăsare pe contactul fix, atunci cînd prin bobina releului nu circulă un curent; această forţă, care determină curentul de durată maxim prin contacte, depinde de valoarea fluxului dat de magnetul permanent;

— deplasarea totală a armăturii, egală cu distanţa dintre polii miezului 2, care determină puterea de rupere sau capacitatea de comutare a contactelor releului şi timpul propriu de acţionare;

— valoarea minimă a fluxului activ Φ_a, pentru care partea mobilă îşi schimbă poziţia; această valoare, care depinde de tensiunea magnetomotoare a bobinelor de lucru, caracterizează sensibilitatea releului.

Principalele avantaje ale acestui tip sînt următoarele:

— sensibilitatea mare, releele polarizate acţionînd şi la puteri de ordinul a $1 \times 10^{-2} \ldots 5 \times 10^{-3}$ W, ceea ce reprezintă o performanţă de cel puţin zece ori mai bună decît a celui mai sensibil releu electromagnetic;

— stabilitatea termică mare, releele polarizate suportînd curenţi care depăşesc de 20 de ori şi mai mult curentul minim de acţionare; această proprietate, pe care nu o au releele electromagnetice, electrodinamice şi magnetoelectrice, constituie un avantaj deosebit al releelor polarizate;

— timpul propriu de acţionare foarte mic (de ordinul a 2×10^{-3} s, deci cam a zecea parte dintr-o perioadă a curentului alternativ industrial); acest fapt se datoreşte greutăţii foarte mici a părţii mobile, cum şi constantelor de timp ale circuitului electric;

— releul acţionează nu numai la depăşirea valorii curentului, ci şi la schimbarea sensului de circulaţie a acestuia; acest fapt îl face să fie folosit în montaje speciale, pentru a sesiza deviaţia diferiţilor parametri (puteri, unghiuri de defazaj, impedanţe etc.).

— gabaritul şi greutatea reduse, datorită cărora poate fi folosit în instalaţii portative sau complexe.

Dezavantaje care limitează utilizarea lor:

— capacitatea de comutare a contactelor este mică; distanța mică dintre contacte conduce la reducerea capacității de comutare, în special la tensiuni mari, în curent alternativ, și în circuite inductive;

— sistemul de basculare a părții mobile și piesele de reglare a contactelor fixe sînt elemente fine a căror reglare este dificilă;

— coeficientul de revenire este relativ mic.

Avînd în vedere avantajele acestui tip de releu și caracteristicile de bază ale releelor, polarizate, folosirea lor s-a extins mult în domeniul telecomunicațiilor, al automatizărilor și în schemele de protecție prin relee.

9.2.5. Relee magnetoelectrice

Principiul de funcționare al releelor magnetoelectrice este următorul: echipajul mobil al releului, pe care se află una sau mai multe bobine, este situat în cîmpul unui magnet permanent. Datorită forțelor care apar între curentul din bobine și cîmpul magnetic permanent, se produce cuplul activ asupra echipajului mobil.

În figura 9.18 este reprezentat releul magnetoelectric folosit în protecțiile de distanță RD—7. În întrefierul dintre partea exterioară și cea interioară ale magnetului permanent M (care sînt concentrice și constituie cei doi poli ai magnetului) este situat cilindrul T, din material izolant, foarte ușor. Pe acesta sînt montate două bobine, ale căror înfășurări sînt parcurse în sensuri inverse de curenți redresați.

Sub acțiunea cîmpului magnetic permanent din întrefier cele două bobine sînt solicitate de forțe verticale, de sensuri inverse.

Notîndu-se cu B_M inducția magnetică din întrefier (datorită magnetului permanent), cu i_1 și w_1 — curentul și numărul de spire ale bobinei *1*, iar cu i_2 și w_2 — curentul și numărul de spire ale bobinei *2*, forțele care tind să deplaseze vertical cele două bobine sînt:

$$F_1 = k_1 w_1 B_M i_1;$$

$$F_2 = k_2 w_2 B_M i_2.$$

Aceste forțe fiind dirijate în sensuri opuse, dacă se presupune că forța F_1 este dirijată în sus, rezultă că forța F_a (care tinde să deplaseze în sus cilindrul T și prin intermediul brațului B fixat pe acesta să închidă contactele C) este dată de relația:

$$F_a = k_1 w_1 B_M i_1 - k_2 w_2 B_M i_2.$$

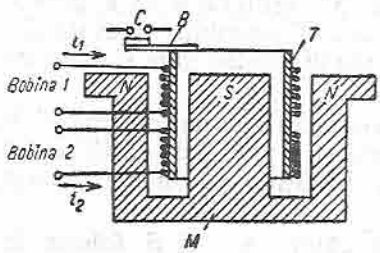


Fig. 9.18

Neglijînd frecările și greutatea proprie a cilindrului cu bobinele sale rezultă că, pentru a se produce acționarea releului, trebuie să fie satisfăcută condiția:

$$k_1 w_1 B_M i_1 > k_2 w_2 B_A i_2,$$

respectiv:

$$\frac{i_2}{i_1} < \frac{k_1 w_1}{k_2 w_2}.$$

Releul acționează în funcție de valoarea raportului dintre curenți, de unde se mai numesc și relee balanță.

Calitatea principală a releelor magnetoelectrice constă în marea lor sensibilitate: datorită acesteia, ele se folosesc ca elemente de măsură, în protecțiile speciale, și ca traductoare sau amplificatoare intermediare, în instalațiile de automatizări.

Dezavantajele acestor relee sînt: imposibilitatea de a fi folosite direct în curent alternativ (fără redresare) și capacitatea redusă de comutare a contactelor.

9.2.6. Relee termice

Releele termice sînt acționate de variațiile temperaturii la care este supusă instalația sau a mediului în care sînt montate acestea. Se mai numesc și relee electrotermice datorită curentului electric care provoacă încălzirea și deci acționarea lor în caz de depășire a parametrilor reglați.

Se deosebesc două categorii de relee:

— relee electrice termice, la care elementul de excitare este parcurs de curentul electric, care provoacă încălzirea sa:

— relee la care căldura este cedată de mediul înconjurător, în care funcționează releul; acestea sînt cunoscute și sub numele de relee termometrice sau termostate.

În protecția instalațiilor electrice se folosesc cel mai mult releele cu bimetal. Funcționarea lor se bazează pe fenomenul dilatării unui corp metalic supus încălzirii. În schema din figura 9.19 corpul metalic B este compus din două lame din metale diferite, cu coeficienți de dilatare diferiți, laminate sau lipite astfel ca să formeze o singură lamă, numită bimetal. Curentul electric care provoacă încălzirea poate trece, fie direct prin bimetal, fie printr-o înfășurare de încălzire C, fie pe ambele căi.

La depășirea unei anumite temperaturi, datorită coeficienților de dilatație diferiți, bimetalul se curbează în partea lamei cu dilatarea mai mică (în figură, în sus) și se închide contactul releului. Acesta este relizat cu ajutorul a două lamele flexibile, care împreună cu bimetalul și cu capetele înfășurării de încălzire sînt fixate într-un suport izolat S.

Avantajele releelor sînt:

— construcția simplă și robustă, odată reglate pentru un circuit sau element, releele nu mai necesită o supraveghere specială;

— caracteristica de funcționare depinde de curent, deci de temperatura elementului protejat, în sensul că la solicitări mai mici acționează cu temporizare mai mare și la solicitări mai mari acționează mai rapid.

Dezavantaje:

— puterea de rupere a contactelor este mică, datorită vitezei reduse de deplasare a pieselor mobile;

— revenirea în poziție inițială, pentru o nouă acționare nu este rapidă, ci numai după ce s-a răcit elementul de sesizare al temperaturii, proces care durează, în general, destul de mult;

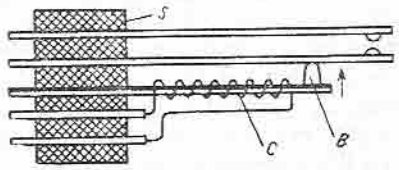


Fig. 9.19

— parametrii de funcţionare se modifică prin modificarea sau prin înlocuirea elementelor de sesizare a temperaturii ridicate (bimetal sau aliaj).

Releele electrice termice se utilizează pentru protecţia maşinilor şi a instalaţiilor electrice contra suprasarcinilor mici, de lungă durată. În ultimul timp, acestea se combină cu releele electromagnetice, pentru realizarea unei protecţii mai complete.

9.2.7. Relee statice

Se numesc relee statice, fără contacte, pentru că nu au părţi în mişcare, principiul lor de funcţionare bazîndu-se pe fenomene electronice sau electromagnetice.

Avantajele releelor sau dispozitivelor statice faţă de releele electromecanice (cu contacte) sînt:

— consum propriu redus;
— gabarite mici;
— performanţe superioare celor electromecanice datorită posibilităţilor practice şi teoretice ale limitelor de funcţionare;
— cheltuieli reduse de exploatare şi întreţinere prin lipsa elementelor mobile;
— posibiliatatea tipizării sau utilizării de elemente logice normalizate.

Ca dezavantaje au:

— alimentarea separată şi stabilizată mult mai pretenţioasă decît la releele electromecanice;
— măsuri speciale de climatizare;
— sensibilitate la şocurile de tensiune, la variaţia capacităţilor din instalaţia proprie sau a celor cu care se leagă;
— scheme complicate;
— localizare dificilă a eventualelor defecte;
— personalul trebuie să aibă cunoştinţe, experienţă şi dotare cu aparate complicate.

Releele statice se clasifică după;

— felul tensiunilor de alimentare (c.c. sau c.a.);
— tipul constructiv (cu tuburi electronice, tranzistoare, amplificatoare magnetice, semiconductoare);
— utilizarea lor în schema respectivă;
— felul mărimii de intrare şi a traductoarelor folosite sau locul lor în schema de protecţie;
— numărul mărimilor de intrare etc.

Releele statice pot avea una sau mai multe mărimi de intrare.

Se pot distinge două mari categorii de relee statice şi anume:

— relee cu o singură mărime de intrare;
— relee cu două sau mai multe mărimi de intrare.

În categoria releelor cu o singură mărime de intrare se cuprind toate acelea care folosesc o schemă simplificată ca în figura 9.20. După cum se vede în figura 9.20 detectorul de nivel critic realizat cu ajutorul unui tranzistor T, alimentat în schema cu emitor comun, sesizează valoarea ce depăşeşte tensiunea de intrare U_c la bornele *1* şi *2*.

În lipsa tensiunii la bornele *1* şi *2* sau apariţia acesteia sub limita critică, tranzistorul este blocat, nu circulă curent prin borna *3*.

În momentul în care tensiunea U_c la bornele *1* și *2* crește peste valoarea critică, tranzistorul T se deblochează și prin borna *3* ca și prin releul electromagnetic R trece un curent care îl face să acționeze. Rezistența R_E îndeplinește două roluri și anume: unul de limitare a curentului prin circuitul emitor, colector și bobina releului și altul, de prag sau nivel de deblocare a tranzistorului; este de fapt o mărime de referință indirectă. În unele scheme mai evoluate se utilizează o diodă Zener care joacă și un rol de stabilizator de tensiune în locul rezistenței R_E din această schemă. Acționarea releului R în cazul figurii 9.20, *a* duce la modificarea contactelor sale, adică la transmiterea unui semnal de ieșire a acestui releu electronic. Schema aceasta reprezintă un releu electronic de tensiune maximă, cu tranzistor și cu releu electromagnetic. Reglajul valorii de lucru a releului se poate face din modificarea poziției cursorului de la potențiometrul R_B.

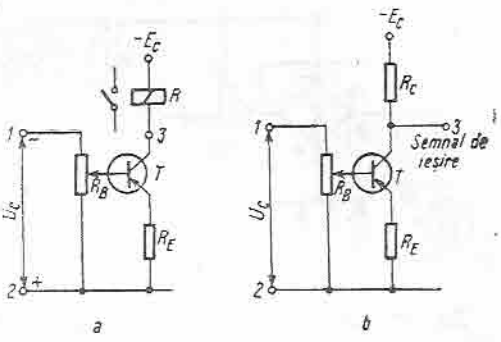


Fig. 9.20

În figura 9.20, *b* este reprezentat un releu identic ca principiu, dar care la ieșire transmite un semnal de tensiune, deoarece nu folosește un releu electromagnetic. Acest gen de schemă se folosește cu succes în schemele logice sau tot electronice.

În final, semnalul de ieșire la borna *3* este negativ atunci cînd releul electronic nu acționează (tranzistorul este blocat) și pozitiv atunci cînd releul acționează (tranzistorul este blocat, deci conduce un semnal pozitiv la borna *3*).

O schemă mai completă a unui releu electronic, maximal de curent cu diodă Zener, este arătată în figura 9.21. În această schemă valoarea de intrare este un curent secundar i care este proporțional cu curentul pri-ar I (prin intermediul transformatorului de curent TC) și care este redresat în puntea PR, de unde se transmite sub formă de tensiune redresată la intrarea în releu. În continuare schema funcționează după principiul descris mai sus. Circuitul format din R_z și dioda Zener D_z funcționează ca un stabilizator de tensiune pentru emitorul tranzistorului, de fapt limitator pentru înfășurarea releului electromagnetic. Este necesară utilizarea acestei limitări pentru cazurile de acționare a releului electronic în regim de scurtcircuit maxim, momente în care tensiunile redresate la intrare pot atinge valori foarte mari și ar putea distruge tranzistorul sau releul electromagnetic. Se știe că la scurtcircuit, în regim maxim, valorile curenților pot fi destul de mari cu toate că fenomenul de saturație al transformatoarelor de curent ar trebui să-l limiteze (limitele pot fi de 30—50 ori curentul nominal).

În unele scheme foarte complicate releele electronice se mai reprezintă și printr-un dreptunghi așa cum se arată în figura 9.22.

Această schemă bloc a releului poate să indice toate bornele (fig. 9.22, *a*) sau numai sensul de funcționare (fig. 9.22, *b*).

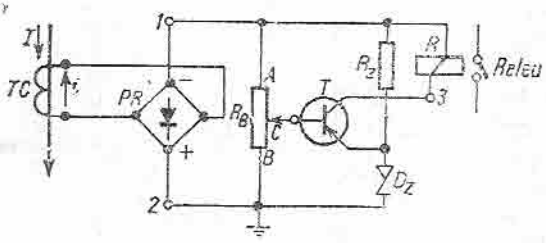


Fig. 9.21

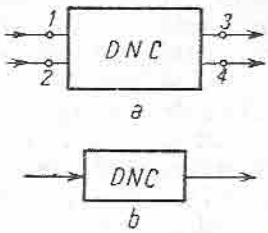


Fig. 9.22

În categoria releelor cu mai multe mărimi de intrare se cuprind de fapt scheme care folosesc mai multe elemente. Elementul principal în această categorie este aşa-numitul comparator de amplitudine, în unele cazuri, sau detectoarele de fază, în alte cazuri.

Prin comparator de amplitudine se înţelege o schemă care realizează compararea (cîntărirea) a două mărimi electrice numai ca amplitudini, adică mărimea absolută (modulul unui fazor de exemplu). Compararea se poate face între mărimi alternative sau continue. De fapt mărimile alternative se redresează şi apoi se unesc galvanic atunci cînd se doreşte compararea directă. Acesta este cazul releelor diferenţiale sau de distanţă în anumite situaţii. Acest gen de releu se mai numeşte uneori şi releu balanţă deoarece el sesizează şi raportul dintre două sau mai multe mărimi. Compararea se mai poate face şi prin intermediul fluxurilor magnetice ale mărimilor de intrare.

În figura 9.23 este arătat un comparator de amplitudine cu mărimi redresate, folosit în cazul releelor diferenţiale. Se vede că releul electronic, ce poate fi un dedector de nivel critic simplu (tot aşa de bine se poate folosi un releu electromagnetic, polarizat sau de alt tip), sesizează diferenţa dintre I_1 şi I_2. Într-o schemă asemănătoare se poate folosi diferenţa sau raportul între o tensiune U şi curentul I, ceea ce ar conduce la un releu de distanţă.

Există scheme electronice care realizează compararea de amplitudine direct în tranzistoare sau elemente electronice, fără punte redresoare sau traductoare. Un exemplu de releu de distanţă cu tranzistoare în loc de redresoare se arată în figura 9.24.

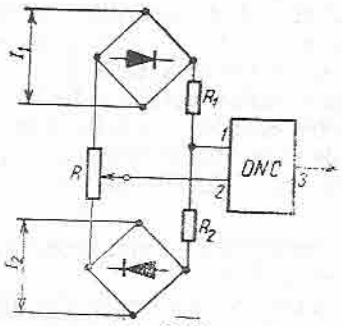


Fig. 9.23

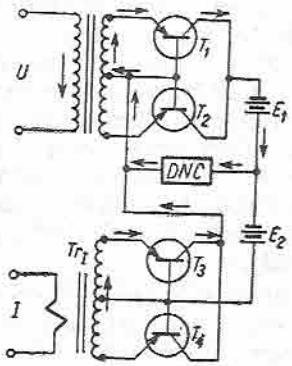


Fig. 9.24

Prin detector de fază se înțelege o schemă care permite sesizarea diferențelor fazoriale a două mărimi alternative (compararea a două argumente ale mărimilor alternative). Un exemplu de detector de fază este releul direcțional de inducție din figura 9.25 realizat cu traductor Hall. Schemele în care se realizează detectoarele de fază cu ajutorul semiconductoarelor (diode sau tranzistoare) sînt multiple și destul de complicate.

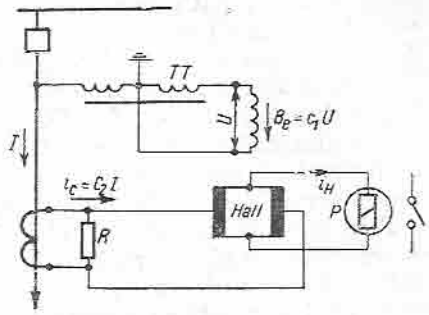


Fig. 9.25

Releele și contactele pot fi înlocuite și de funcții logice realizate cu ajutorul unor circuite electronice.

Un exemplu de înlocuire a releelor și contactelor electromecanice cu circuite sau module logice este arătat în figura 9.26.

Principiul de funcționare al modulului NICI (fig. 9.26, *b*) este următorul: atît timp cît la intrările 2, 4, 6 nu există tensiune (semnal standardizat) sau există tensiune pozitivă (semnal 0 în codul binar adoptat), la borna de ieșire 1 este tensiune negativă (semnal standard 1 în codul binar). Aceasta este posibil deoarece tranzistorul este blocat, semnalul negativ 1 la ieșire provine de la polul E_c prin rezistența de sarcină R_c (figura 9.26, *a*) Rezistența R_B asigură blocarea tranzistorului și în lipsa tensiunilor la intrare, prin aducerea unui semnal pozitiv de la E_B la baza tranzistorului. Pentru trecerea în conducție sau în starea de saturație a tranzistorului este suficient să apară un singur semnal (sau toate) la una din intrări. Elementul prezentat, transmite un semnal standard negativ (1 în cod binar) atunci cînd la NICI una din intrări nu are același semnal. De asemenea, în figura 9.26, *c* se poate vedea schema de înlocuire a releelor electromecanice prin modulul

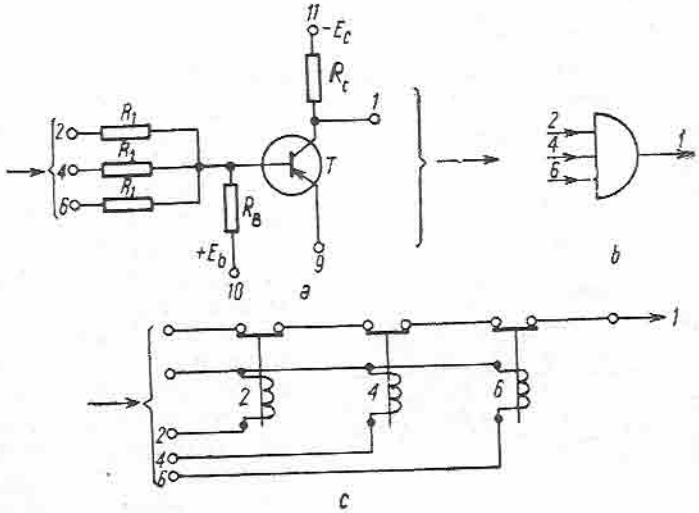


Fig. 9.26

logic de tipul NICI expus mai sus. În acest exemplu se vede cît de mare este diferența în ceea ce privește gabaritul, schema și alte particularități dintre cele două principii; electromecanice și statice.

În țara noastră s-a proiectat și realizat un sistem unificat de elemente logice determinate, UNILOG, care din punct de vedere funcțional a adoptat ca element de bază modulul NICI. Sistemul alcătuit din aceste elemente reprezintă un tot unitar deoarece folosește semnale, impedanțe de intrare, sarcini și tensiuni de alimentare standardizate.

Prin combinarea elementelor de bază de tipul NICI se obțin tot felul de funcțiuni logice complete sau elemente (*și, sau, nu, memorie* etc.) care pot realiza circuite statice de blocare, comutație, timp sau amplificatoare necesare instalațiilor de protecție, comandă și semnalizare.

9.2.8. Relee de timp

Deoarece releele de măsură ale schemelor de protecție (relee de curent, de tensiune, direcționale etc.) își închid contactele cu un timp propriu foarte mic (între 0,02 și 0,1 s), pentru crearea temporizărilor necesare acționării selective a protecției în ansamblu s-au construit dispozitive speciale de temporizare. Acestea pot fi realizate cu temporizare la acționare sau la revenire.

Temporizarea necesară se poate obține în mai multe moduri, dintre care cele mai importante sînt: cu relee electromagnetice, cu relee termice, cu scheme electronice și cu motoare electrice. Folosirea unuia sau a altuia dintre sisteme depinde de limitele de timp dorite, de siguranța și de precizia necesară, cum și de specificul schemei respective din instalația de protecție.

Relee sau dispozitive de tip electromagnetice. Obținerea temporizării se bazează pe faptul că între armătura mobilă a releului și contactul său este prevăzut un dispozitiv de temporizare. Dispozitivul de temporizare este realizat în diferite moduri:

— cu mecanism de ceasornic;
— cu circuit electric special;
— cu circuit magnetic special sau spire în scurtcircuit.

a) Relee cu mecanism de ceasornic (fig. 9.27). Un astfel de releu, cu temporizare la închidere, este compus dintr-un electromagnet *1*, a cărui armătură *2* este legată prin pîrghia *3* cu sectorul dințat *4*, care se poate roti în jurul punctului *0*. Asupra sectorului *4* mai acționează resortul spiral antagonist *5*. Pornirea sectorului dințat pune în mișcare roțile *6*, *7* și *9* în modul următor: sub acțiunea electromagnetului *1*, cînd acesta este parcurs de curent, roata *7* tinde să se rotească în sensul indicat de săgeată, însă este oprită deoarece prin dinții săi oblici este

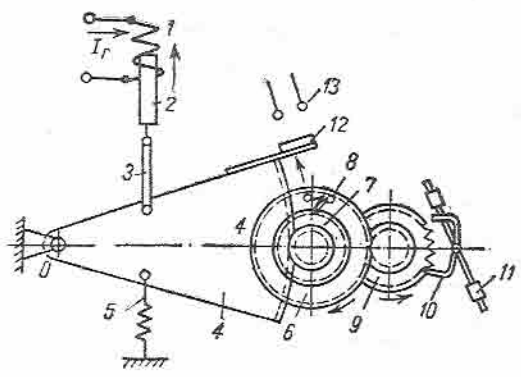


Fig. 9.27

blocată de clichetul *8*, fixat în roata *6* și care nu permite mișcarea liberă decît în sens invers (pentru revenire în poziția inițială). În acest fel, deplasarea sectorului *4* determină pornirea roții *6* care la rîndul ei este angrenată cu roata dințată *9*. Aceasta însă nu permite mișcarea întregului angrenaj decît după parcurgerea, dinte cu dinte, a danturii sale, datorită sistemului de ancoră *10* și a balansierului cu contragreutate *11*. În felul acesta, sectorul dințat *4* avansează cu o viteză determinată, pînă la sfîrșitul cursei, cînd se stabilește legătura între contactul mobil *12* și contactele fixe *13*.

Temporizarea releului poate fi reglată între limite largi, prin modificarea cursei sectorului dințat *4*, și în limite foarte mici, prin modificarea contragreutăților *11* ale balansierului. Dacă se schimbă sensul oblicității dinților roții *7* și a clichetului *8*, releul are temporizare la revenire.

În practică se folosesc relee de timp bazate pe principiul descris, la care mecanismul de ceasornic, releul electromagnetic sau contactele diferă de la un constructor la altul. Temporizările obținute cu ajutorul acestui sistem sînt de ordinul a 0,5—20 s, cu o precizie destul de mare (cu excepția primei părți a scării). Precizia temporizării nu depinde la acest tip de releu de nici un factor extern, avantaj datorită căruia el este mai mult folosit în schemele de protecție și automatizare la care acesta se supune.

b) Releele cu condensator se încadrează în categoria releelor cu temporizare care utilizează circuite electrice speciale. Aceste circuite speciale pentru temporizare folosesc proprietățile de încărcare și descărcare ale condensatoarelor. Astfel dacă se consideră o schemă ca în figura 9.28, *a* în care se neglijează parametrii proprii înfășurării releului RT și pentru o tensiune de alimentare constantă de valoare E, va exista o variație de curent i prin circuitul format din condensatorul C și rezistența R, așa cum se arată în figura 9.29. Evident că valoarea curentului i variază în timp și se poate deduce cu relația:

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}},$$

în care i este curentul în circuitul condensatorului;

R și C — valorile constante ale rezistenței și condensatorului circuitului (RC se mai numește și constanta de timp a circuitului);

t — timpul de încărcare a condensatorului.

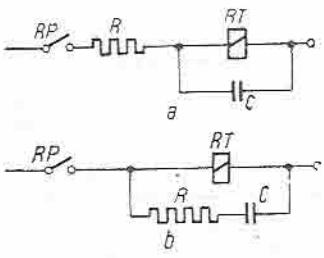


Fig. 9.28

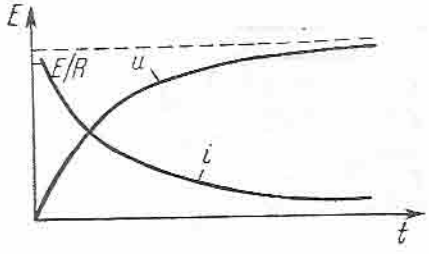


Fig. 9.29

Acţionarea releului este provocată de tensiunea u de la bornele condensatorului şi care variază după o curbă arătată în figura 9.29. Relaţia de calcul a tensiunii la bornele condensatorului şi deci a releului este de forma:

$$U = E\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right),$$

în care U este tensiunea aplicată înfăşurării releului.

Presupunînd că releul acţionează la o valoare de tensiune cunoscută, atunci singura necunoscută din formulă rămîne timpul care se explicitează după următoarea relaţie:

$$t = RC \ln\left(1 - \frac{U_{act}}{E}\right).$$

Timpul de acţionare al releului depinde de cîţiva factori, cei mai importanţi fiind valorile lui R şi C.

În realitate situaţia este mai complexă deoarece fenomenul tranzitoriu care se petrece în acest circuit este influenţat şi de parametrii proprii ai înfăşurării releului. Folosirea unei scheme ca în figura 9.28, *a* sau 9.28, *b* se face pentru obţinerea temporizărilor la închidere.

Dezavantajele principale la aceste tipuri de relee sînt datorită unei precizii scăzute. Influenţele negative se produc în momentul variaţiei de tensiune la sursa de alimentare, care conduce la modificarea sensibilă a timpului.

c) Releu cu spiră în scurtcircuit. Temporizările se realizează cu ajutorul modificării circuitelor magnetice. Cele mai folosite variante sînt:

— cu înfăşurări suplimentare în scurtcircuit pe aceeaşi armătură;

— cu inele sau tuburi de cupru în scurtcircuit.

În figura 9.30 se prezintă un releu electromagnetic cu tub amortizor, care realizează temporizarea la închidere după varianta ultimă. Tubul amortizor *2* constă din mai multe inele de cupru, dispuse pe armătura fixă a releului, coaxiale cu bobina principală de excitaţie *1* a releului. Locul inelelor poate fi luat de o înfăşurare specială legată în scurtcircuit.

Acest sistem are dezavantajul că măreşte dimensiunile releului.

Principiul de obţinere a temporizării se bazează pe interacţiunea dintre două circuite cuplate magnetic. În acest caz variaţia curentului în bobina principală, notat cu i_p, şi în cea de amortizare, notat cu i_a, este dată în figura 9.31.

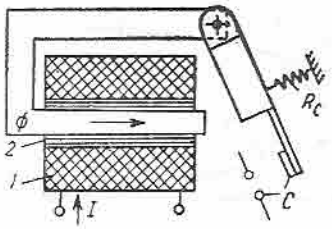


Fig. 9.30

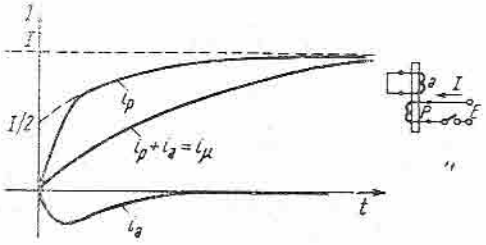


Fig. 9.31

Dacă se neglijează scăpările şi se consideră un cuplaj bun, atunci relaţia de variaţie a curenţilor la închidere va fi:

$$i_\mu = i_p + i_a = I\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L+M}}\right),$$

în care: i_μ este curentul necesar magnetizării circuitului magnetic;

i_p — curentul în înfăşurarea principală a releului;

i_a — curentul în înfăşurarea de amortizare;

R, L şi M — parametrii înfăşurărilor şi anume, rezistenţa R, inductanţa L şi coeficientul de inducţie mutuală M;

t — timpul;

I — curentul stabilizat prin înfăşurarea principală.

Explicitînd timpul se obţine relaţia:

$$t = \frac{L+M}{R} \ln\left(1 - \frac{i_\mu}{I}\right).$$

Valoarea temporizărilor realizate cu ajutorul acestor variante este de ordinul secundelor.

Dezavantajele principale sînt de aceeaşi natură ca la releele cu circuite speciale, în plus acestea au gabarite şi greutăţi proprii mai mari.

Relee de tip termice. Sînt de tipul releelor cu bimetal, cu precizarea că pentru menţinerea unui timp constant este necesar ca bimetalul să fie parcurs de un curent constant şi să fie plasat într-un mediu în care temperatura să nu varieze sensibil. Temporizarea acestor relee este cuprinsă între limite foarte largi (de la 20 pînă la 300 s şi chiar mai mult).

Datorită erorilor destul de mari (peste 15%) utilizarea acestor tipuri de relee este destul de rară.

Relee de timp cu scheme electronice. Principiul de temporizare este apropiat de cel în care se folosesc condensatoarele electrice ca element de bază. Circuitul principal este reprezentat schematic în figura 9.32.

Relaţia după care se încarcă condensatorul pentru descărcare este:

$$U_c = Ee^{-\frac{t}{RC}},$$

de unde timpul este:

$$t = RC \ln \frac{U_c}{E}.$$

În calitate de element de intrare se pot folosi contactele unui releu sau o schemă logică care să-l înlocuiască pe acesta.

În calitate de element de ieşire se pot folosi mai multe posibilităţi şi anume:

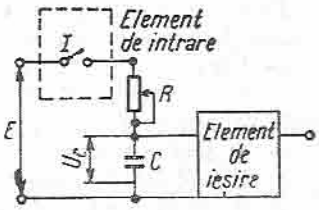


Fig. 9.32

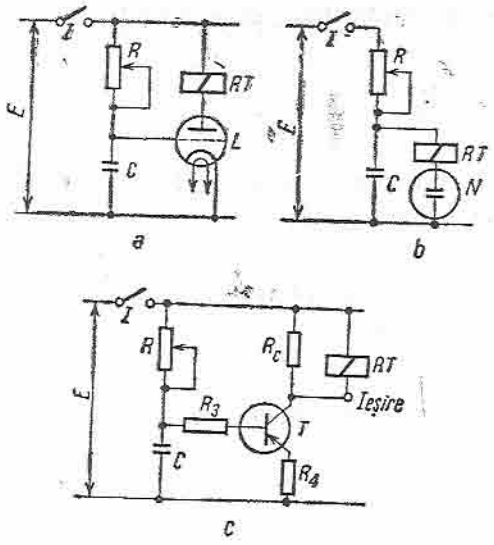


Fig. 9.33

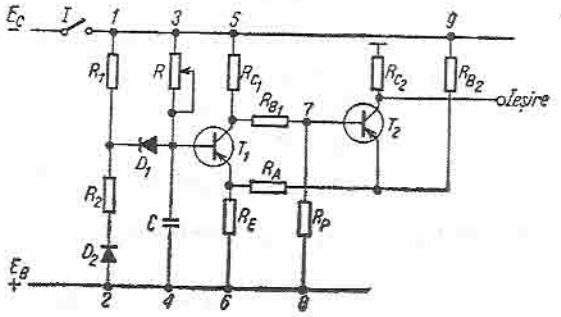


Fig. 9.34

— înfăşurarea unui releu intermediar, în care caz se cade peste soluţia descrisă mai sus la relee cu circuite speciale (cu condensatoare);

— tub electronic care să permită la rîndul său acţionarea unui releu foarte sensibil, figura 9.33, *a*;

— tuburi cu neon înseriate cu înfăşurarea unui releu figura 9.33, *b*.

— tranzistoare care să acţioneze un releu, figura 9.33, *c*;

— tranzistoare în scheme speciale de înlocuire a contactelor.

În realitate schemele sînt mai complicate, deoarece trebuie luate unele măsuri speciale pentru a putea realiza aceleaşi funcţiuni şi grad de precizie ca la releul de timp realizat pe cale mecanică. Cerinţele cele mai importante în acest sens, pot fi următoarele:

— independenţa temporizării faţă de sursa de alimentare;

— revenirea în stare iniţială a releului într-un timp foarte scurt;

— repetarea acţionării la valoarea stabilită de temporizare;

— reglaj fin şi sigur al timpului de lucru.

O soluţie care răspunde mai complet la cerinţele necesare unui releu de timp este arătată în schema din figura 9.34. În această schemă se foloseşte ca element de ieşire un detector de nivel critic cu circuit basculant Schmitt (trigger Schmitt). Funcţionarea acestei scheme se poate explica în felul următor.

În starea iniţială cînd elementul *I* este deschis situaţia celor două tranzistoare şi a semnalului de ieşire este următoarea:

— tranzistorul T_1 în stare blocată (deoarece potenţialul este pozitiv)

— tranzistorul T_2 este deschis (în conducţie) deoarece potenţialul bazei sale este negativ datorită tranzistorului T_1 care este blocat:

— la ieşire este un semnal pozitiv (de la $+ E_B$) deoarece există curent prin R_E, R_A şi T_2 care este în conducţie.

Cînd elementul *I* este acţionat (se închide) se aplică tensiune negativă ($-E_c$) pe circuitul *RC* (între bornele *3—4*). Prin reglajul rezistenţei *R* se

modifică valoarea constantei de timp RC, deci şi timpul de lucru al releului.

Din momentul aplicării tensiunii negative, condensatorul C începe să se încarce.

Atunci cînd tensiunea la bornele condensatorului C a crescut suficient pentru a asigura o polarizare negativă bazei tranzistorului T_1, acesta se deblochează ceea ce face să basculeze schema, adică să se blocheze tranzistorul T_2. Tranzistorul T_2 se blochează tot timpul în care tranzistorul T_1 este în conducţie. Schimbarea de stare a tranzistorului T_2 conduce la modificarea semnalului la ieşire.

După revenirea elementului de intrare (lichidarea defectului) se întrerupe circuitul RC şi triggerul revine în starea iniţială. În acest caz condensatorul C începe să se descarce prin rezistenţa R_E. Întrucît $R_E < R$, constanta de timp a circuitului la descărcare este mult mai mică decît la încărcare. Pentru a preveni o funcţionare greşită la o nouă acţionare a releului înainte de a se descărca complet condensatorul C s-a prevăzut circuitul format din R_2 şi D_1 care dă o încărcare iniţială a acestuia (în unele scheme de circa 1 V). În acest fel indiferent de momentul aplicării tensiunii negative asupra circuitului RC încărcarea condensatorului începe de la o valoare iniţială mereu aceeaşi. Aceasta asigură revenirea rapidă în stare iniţială şi măreşte gradul de repetabilitate a releului. Dioda D_2 şi rezistenţa R_1 asigură un reglaj fin divizorului de tensiune pentru încărcarea iniţială a condensatorului C şi compensarea tuturor variaţiilor caracteristice diodei D_1 datorite temperaturii atunci cînd releul este în funcţiune.

Dispozitive de timp acţionate cu motor electric. Elementul de timp este uneori realizat cu ajutorul unui motor cu excitaţie serie, alimentat în curent continuu. În schema din figura 9.35 motorul este prevăzut cu un sistem de reglare automată a turaţiei. Acesta şuntează rotorul M cu sistemul centrifugal de contacte N, ori de cîte ori turaţia rotorului depăşeşte o anumită limită, şi îl deşuntează cînd turaţia scade. Astfel, chiar la variaţii însemnate ale tensiunii care alimentează circuitul motorului, viteza se menţine practic constantă, între limitele necesare. Contactul rotativ P, care închide consecutiv contactele fixe t_2, t_3 şi t_e este antrenat de motor prin intermediul cuplei electromagnetice k. Temporizarea maximă realizată cu un asemenea dispozitiv, la unele protecţii de distanţă, este de 7,5 s.

Temporizarea necesară a contactelor intermediare t_2 şi t_3 poate fi reglată uşor prin modificarea poziţiei acestora faţă de contactul mobil P. Astfel, apropiindu-se contactele de poziţia iniţială a sistemului mobil P, se micşorează timpul de acţionare al acestora şi invers.

Avantajele principale ale acestui dispozitiv constau în precizia ridicată a timpilor de lucru, independent de factorii externi şi putere mare de rupere a contactelor. De asemenea, posibilităţi foarte comode de reglaj atît ca precizie, cît şi în timpul funcţionării instalaţiilor de protecţie.

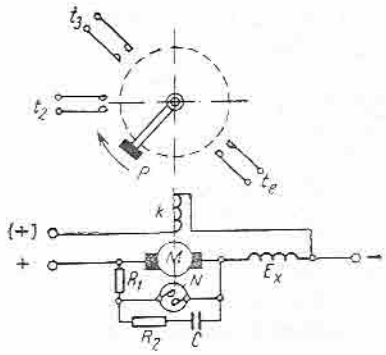


Fig. 9.35

9.2.9. Releele primare

La releele primare mărimea de intrare este luată direct din circuitul principal al instalaţiilor energetice, adică — din circuitele de înaltă, medie sau joasă tensiune fără intermediul transformatoarelor de curent.

Releele primare sînt relee maximale de curent, de tipul electromagnetic, termic sau de inducţie.

După felul caracteristicii $U = f(t)$ releele primare pot fi:

— relee rapide (fără temporizare);

— relee cu temporizare independentă de curent;

— relee cu temporizare dependentă de curent.

Releele primare se montează direct pe bornele izolatoare ale întreruptoarelor (cît mai aproape de dispozitivul mecanic de declanşare al acestuia, iar bobinele lor se înseriază cu circuitul principal al elementului protejat.

Dezavantajele releelor primare sînt:

— se construiesc, în general, pentru anumite tipuri de întreruptoare;

— nu permit reglaje sau verificări cu elementul în funcţiune;

— are funcţiuni limitate; în general, se construiesc relee simple cu o singură mărime (maximal de curent).

Avantajele releelor primare sînt:

— eliminarea reductoarelor de curent;

— eliminarea surselor auxiliare de alimentare (curent continuu sau alternativ şi a bobinelor respective);

— instalaţii mai simple şi sigure.

Realizarea constructivă a releelor primare este foarte diferită, aceasta depinzînd de firma producătoare, de tipul întreruptorului pe care se montează, de valoarea curenţilor nominali şi alte caracteristici.

9.2.10. Relee de gaze

Releele de gaze sînt dispozitive de protecţie sensibile la degajarea de gaze în interiorul cuvei transformatoarelor. Locul de montare al acestor relee este pe conducta dintre cuva transformatorului şi conservatorul de ulei aşa cum se vede în figura 9. 36.

Releul are în interior două plutitoare, care au fixate contacte cu mercur (fig. 9.37). Un plutitor este compus dintr-o piesă cilindrică, fixată pe un ax în jurul căruia se poate roti.

În cazul regimului normal de funcţionare cutia releului (fig. 9.38,*a*) este plină cu ulei. În acest caz plutitoarele sînt ridicate şi contactele releului sînt deschise, după cum se vede în figura 9.37.

La un defect în interiorul cuvei transformatorului se produc gaze rezultate din descompunerea uleiului şi a altor substanţe izolante, sub influenţa arcului electric. Volumul de gaze depinde de caracterul şi amploarea defectului. În cazul defectelor neînsemnate se formează o cantitate mai mică de gaze. Gazele degajate sînt mai uşoare decît uleiul, se ridică deasupra lui şi îngrămădesc uleiul împingîndu-l în jos. Odată cu scăderea nivelului uleiului împingîndu-l în jos. Odată cu scăderea nivelului uleiului coboară şi plutitorul superior al releului. Astfel se închid contactele circuitului de semnalizare (fig. 9.38, *b*).

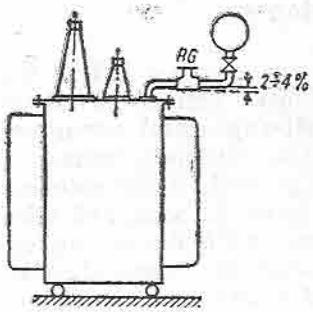


Fig. 9.36

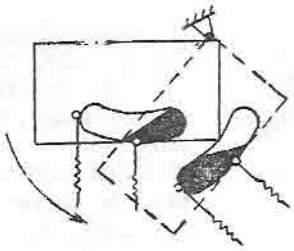


Fig. 9.37

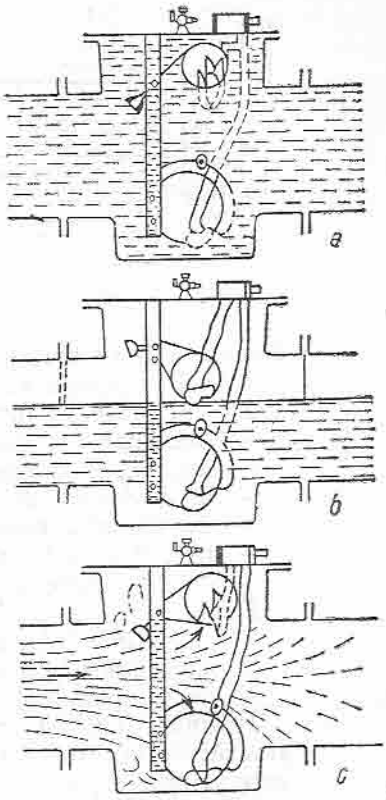


Fig. 9.38

Protecția comandă numai semnalizarea gazelor ieșind în conservatorul de ulei fără a mai provoca o altă scădere a nivelului uleiului din rezervorul releului.

În cazul defectelor grave se produce o degajare puternică de gaze, care provoacă creșterea presiunii în cuva transformatorului. Astfel se produce un curent puternic de gaze de la cuvă spre conservatorul de ulei curent ce antrenează plutitorul inferior al releului (fig. 9.38, *c*). În acest mod se închide circuitul de declanșare și numai după aceea și circuitul de semnalizare.

Mai este de semnalat cazul particular al scurgerilor accidentale de ulei sau al scăderii nivelului de ulei datorită unei răciri puternice, cînd cutia releului de gaze se golește treptat. În aceste situații se închid mai întîi contactele de semnalizare și apoi cele de declanșare. Tot releul de gaze acționează prin semnalizare sau chiar declanșare în cazul unor supracurenți de valori inadmisibile, care provoacă supraîncălziri și determină degajarea de gaze, respectiv creșterea volumului de ulei.

Protecția de gaze poate acționa și în cadrul unei degajări de aer în interiorul transformatorului, după adăugarea de ulei sau curățire, după acționări greșite ale pompei de ulei.

În practică se pot determina cauzele acționării releului de gaze după proprietățile gazelor acumulate în releu, după culoarea lor, după miros și după inflamabilitate, astfel;

— gazele neinflamabile, incolore și inodore arată prezența în transformator a aerului;

— gazele albicioase, neinflamabile, cu miros înțepător arată defectarea materialelor izolante;

— gazele gălbui, greu inflamabil arată defectarea pieselor de lemn;

— gazele cenușii, închise sau negre, ușor inflamabile arată o conturnare în ulei sau o supraîncălzire excesivă, însoțită de descompunerea uleiului.

Cuva transformatorului se așază cu o mică înclinație față de orizontală, aproximativ 2%, pentru a asigura o mișcare liberă a gazelor.

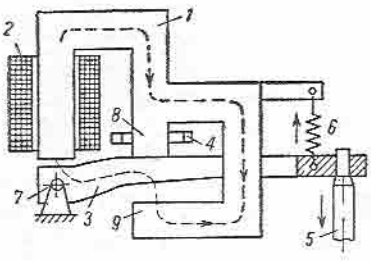


Fig. 9.39

9.3. Declanşatoare

Declanşatoarele aşa cum s-a arătat mai înainte sînt relee care acţionează direct, mecanic, asupra întreruptorului comandînd declanşarea acestuia. Se mai numesc şi relee directe. În general, declanşatoarele sînt dispozitive primare în sensul că mărimea de intrare este luată direct din circuitul primar al instalaţiilor energetice fără intermediul transformatorului de curent. Se folosesc în construcţia aparatelor de conectare şi protecţie (întreruptoare automate).

La fel ca releele se pot clasifica după mai multe criterii. Astfel după valoarea, sensul şi natura mărimii supravegheate se pot clasifica în:

— maximale de curent;
— maximale diferenţiale;
— de inversare de curent;
— de absenţa tensiunii;
— de scăderea tensiunii;
— de întoarcere de energie etc.

După felul caracteristicii de timp se pot clasifica în:

— cu acţiune instantanee;
— cu temporizare independentă de curent;
— cu temporizare dependentă de curent.

În figura 9.39 este reprezentat un declanşator de curent cu acţiune instantanee. Pe miezul magnetic *1* este plasată bobina *2* parcursă de curentul care trebuie supravegheat, iar pe o derivaţie a acestui miez—spira în scurtcircuit *4*. În jurul axului *7* se roteşte armătura mobilă *3*. În regim normal, pentru valori ale curenţilor ce nu depăşesc valoarea reglată, resortul *6* menţine armătura *6* lipită de polul *8*.

În spira în scurtcircuit *4* se creează un flux de reacţie care anulează practic fluxul prin polul *8*. La scurtcircuit fluxul în întrefierul polului *9* este mare şi dă naştere la o forţă ce atrage armătura *3*. Tija izolantă *5* va comanda mecanismul întreruptorului declanşîndu-l.

Declanşatorul maximal de curent cu acţiune temporizată independentă conţine un micromotor sincron aflat în coloana unui electromagnet (fig. 9. 40). Pe miezul magnetic *1* se află bobina *2* străbătută de curentul supravegheat. Rotorul *3* al motorului are forma unui pahar. Decalajul fluxurilor în întrefierul motorului se obţine cu ajutorul a două spire în scurtcircuit *4* şi *5*. Se îndeplinesc astfel condiţiile apariţiei unui cîmp învîrtitor. În regim normal, resortul *7* ţine armătura *6* despărţită. Declanşatorul poate acţiona *instantaneu* prin atragerea paletei *9*, sub acţiunea fluxului de dispersie apărut la curenţi mari, care transmite un impuls mecanic pîrghiei *10* şi *temporizat*. Acţiunea temporizată se produce la o mică rotaţie a armăturii *6* în jurul axului *11*, în acest mod ridicîndu-se frîna *12* de pe rotorul motorului. Totodată se exercită un cuplaj între roata dinţată *13* şi sectorul dinţat *14* prin intermediul roţii dinţate *15*. Micromotorul va antrena roata dinţată *13* şi deci şi sectorul *16* pînă cînd ştiftul de pe acesta va împinge pîrghia *10*. Aceasta desface zăvorul declanşatorului, pîrghia *6* este atrasă

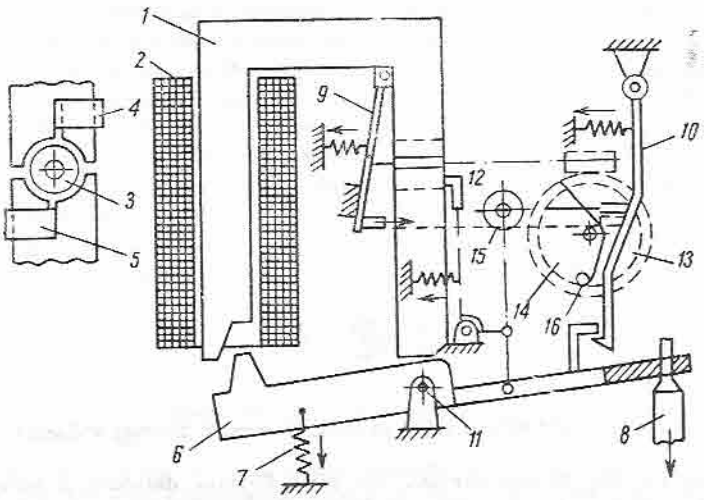


Fig. 9.40

și prin tija *8* se acționează asupra mecanismului întreruptorului. Acțiunea instantanee se poate regla din resortul *17*, iar cea temporizată prin poziția de cuplaj a sectorului *14*.

Pentru a se obține declanșatoare cu acțiune temporizată dependentă de curent se poate atașa declanșatorului din figura 9.39 un element termic care să elibereze armătura *3*. În acest caz timpul de declanșare depinde de valorile curentului.

Declanșatoarele termice sînt foarte mult folosite pentru protecția mașinilor electrice și a cablurilor împotriva încălzirilor periculoase. Un astfel de declanșator este și declanșatorul termic maximal de curent de tip HT fabricat de firma BBC. La acest declanșator o bobină este amplasată pe un circuit magnetic care mai conține pe el și o spiră în scurtcircuit. La curenți mari bobina creează prin circuitul magnetic un flux care va produce în spira în scurtcircuit curenți mari și deci încălzirea acesteia. Un organ bimetalic de măsură a temperaturii va acționa, atît un indicator al temperaturii, cît și o pîrghie de comandă a întreruptorului. Unele tipuri conțin și dispozitive de compensare față de temperatura mediului ambiant. Se amplasează direct pe bornele izolatoarelor întreruptoarelor. În afară de acțiune *temporizată* releul este prevăzut și cu acțiune *instantanee*.

Bibliografie

1. Gheorghiu, N., *Aparate şi reţele electrice.* Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1967.
2. Hortopan, G., *Aparate electrice.* Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1973
3. Babicov, M. A., *Aparate electrice* (traducere din limba rusă). Bucureşti, Editura tehnică, 1965.
4. Afanasiev, V. V., *Konstrukţia vîcliuciaiuşcih aparatov.* Energhia, Leningradscoe otdelenie, 1969.
5. Holm, R., *Elektriceskie kontakti.* Moscova, 1961.
6. * * * *Instrucţiuni pentru montarea şi exploatarea întreruptoarelor de medie tensiune tip IO—10—20 kV, 630, 1250, 2500A.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
7. * * * *Instrucţiuni pentru montarea şi exploatarea întreruptoarelor tip IO—110, 220, 400 kV.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
8. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru întreruptoare de medie tensiune cu gabarit redus tip IO—10 kV 630, 1250 A.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
9. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru întreruptoare tip IUP—123.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
10. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru întreruptoare tip IUP—M—10—20.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova
11. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru mecanismele tip MRI.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
12. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru dispozitive tip AME—1 şi AME—5.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
13. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru dispozitive de acţionare cu servomotor tip ASE.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
14. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru dispozitive de acţionare pneumatice tip AP—2, 3, 4, 5.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
15. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru descărcătoare cu rezistenţă variabilă şi rezistenţă de şuntare tip DRVS—6—110 kV,5000 A.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.
16. * * * *Instrucţiuni de montaj şi exploatare pentru siguranţe fuzibile de înaltă tensiune tip FI, FIT cu SFI, SFIT.* Grupul de uzine pentru aparataj şi maşini electrice Electroputere Craiova.

17. Schapira, W., *Utilizarea separatoarelor de sarcină în stații și posturi de transformare*. București, Institutul central de documentare tehnică, 1968.
18. Suciu, I., *Aparate electrice*. București, Editura didactică și pedagogică, 1968.
19. Nitu, V. și alții, *Instalațiile electrice ale centralelor și stațiilor*, București, 1972.
20. Sarbach, E., *Un nouveau parafoudre pour réseaux à haute tension*. În: Revue Brown Boveri, t. 49, nr. 3/4, p. 128—132, 1962.
21. Christener, H., Sarbach, E., *Parafoudre pour la tension de service de 750 kV*. În: Revue Brown Boveri, t. 51, nr. 1/2, p.79—83,/1964.
22. * * * *Règles pour les parafoudres*. Publication ASE, nr. 3004, ed. Zürich, 1960.
23. Goldstein, A., *Coordination de l'isolement et choix des parafoudres*. În: Revue Brown Boveri, t. 51, nr. 1/2, p. 47—55, 1964.
24. Paukert, I., *Prechodovy odpor kontaktu*. În: Electrotehnik, nr. 6p. 170—175, 1967.
25. Cristiner, H., Morf, A., *Nouveaux parafoudres pour 4, 5 à 750 kV*. În: Revue Brown Boveri, t. 51, nr. 6, p. 346—357, 1967.
26. Saveliev, V. P., *Kombinirovanîi magnito-ventilnîi razriadnik na napreajenie 500 kV*. În: Elektricestvo, 1961.
27. * * * *Curenți în descărcătoare cu rezistență variabilă*. În: Westinghouse Engineer, 1962
28. Brandt, E., *Abstands Kurzschlussprüfungen am Hochleistungfreistrahsschalter*. În: AEG-Mitteluugen nr. 7, 1967.
29. Leeds, W. M., *Întrerupteurs à haute tension à l'hexaflourure de soufre*. În: CIGRE, rap. nr. 117, 1966.
30. Einsele, A., *Le disjoncteur Siemens type F, 220 kV, 156 MVA*. În: Revue Siemens nr. 22, p. 219—223, 1964.
31. * * * *L'orthojecteur rapide, disjoncteur a petit volume d'huile pour l'extérieur*. Delle ND 403 11.61.
32. * * * *Disjoncteur „Orthojecteurs" HK—HG moyenne tension pour l'intérieur*. Delle ND 311.
33. Thommen, H., Baltensperger, P., *Un disjoncteur pneumatique pour les plus hautes exigences d'exploitation*. CIGRE, t. II, rap. 121, 1962.
34. Sinulescu, D. și alții, *Aparate de joasă tensiune. Montare, întreținere, exploatare*. București, Editura tehnică, 1971.
35. Cănescu, RT. și alții, *Instalații electrice de utilizare*. Îndreptar, București, Editura tehnică, 1968.
36. Petitpierre, R., *Disjoncteurs pneumatiques ultrarapides pour réseaux à haute et très haute tension*. În: Revue Brown Boveri, t. 49, nr. 9/10, p. 404—421, 1962.
37. Varzaru, E., *Contactoare statice cu tiristoare*. În: Electrotehnica, nr. 13, 1965.
38. * * * *Les parafoudres Delle*. Delle ND 901.
39. * * * *Les disjoncteurs limiteurs type DL*. Apareillage Delle, 1958.
40. Badea, I. și alții. *Protecția prin relee și automatizarea sistemelor energetice*. București, Editura tehnică, 1973.

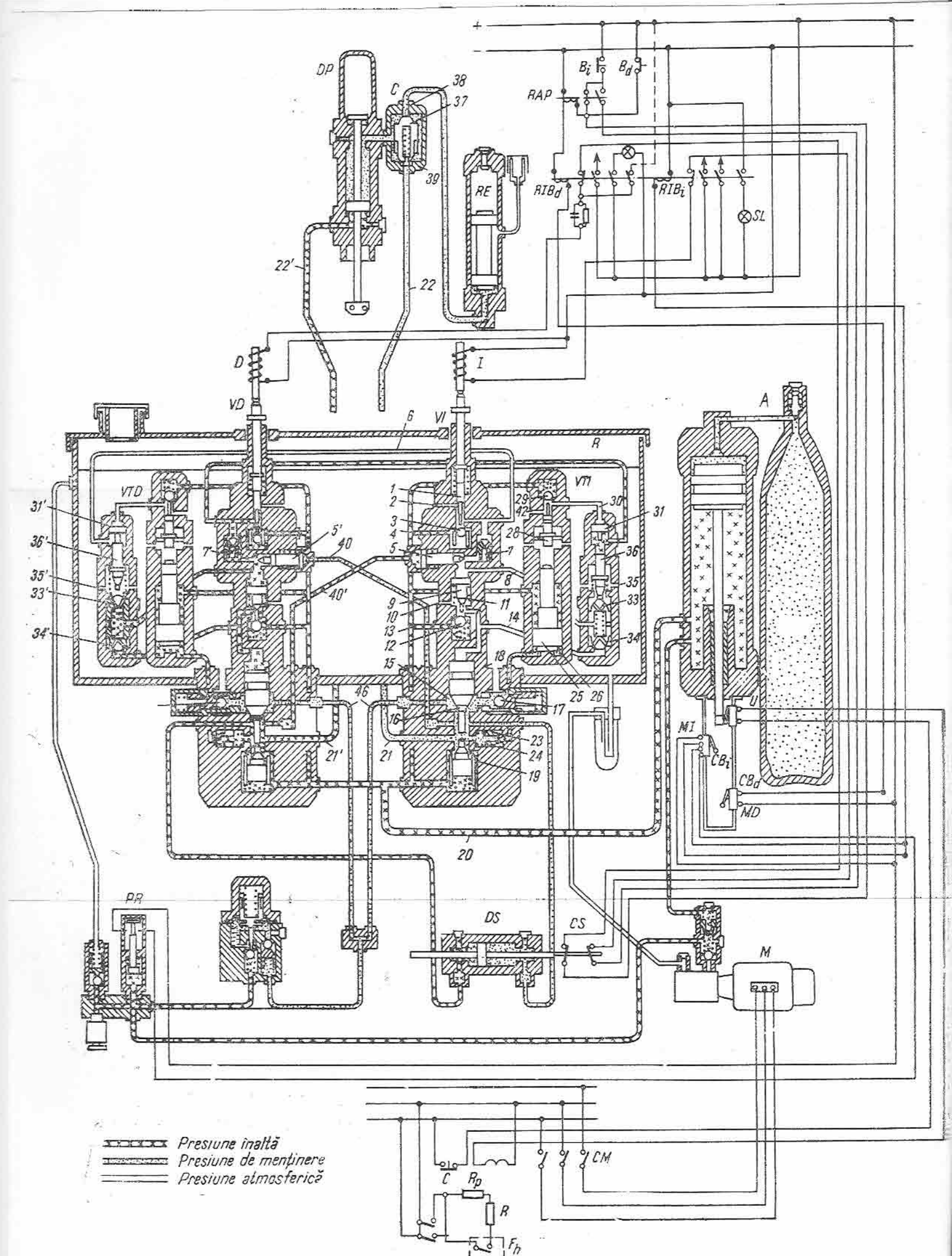

DP
C
38
37
39
RE
22'
22
RAP
B_i
B_d
RIB_d
RIB_i
SL
D
I
VD
VI
6
R
A
VTD
VTI
31'
36'
35'
33'
34'
5'
40
40'
7'
1
2
3
4
5
7
8
9
10
11
12
13
14
15
18
29
42
28
30
31
36
35
33
34
25
26
46
16
17
23
24
19
21'
21
20
U
MI
CB_i
CB_d
MD
PR
DS
CS
M
C
R_p
R
F_h
CM
Presiune înaltă
Presiune de menținere
Presiune atmosferică

Fig. 4.47